



4° SETTORE - LAVORI PUBBLICI

TITOLO PROGETTO

Ripristino strutturale e funzionale del ponte stradale sul canale Diversivo, tra via Mercadante e via Baccarella, località Zalotta

PROGETTISTI

Ing. LUCILLA DIONISI
Via S.Lorenzo, 14 - 40122 Bologna
Tel.051/223432 Fax.051/223432
e-mail: lucilladionisi@tiscali.it

Collaboratore
Ing. Emiliano Giorgino

Visto il R.U.P.
Ing. Gianluca Malagò

Visto il Capo Servizio
Geom. Aurelio Borsari

PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO



Relazione geotecnica

ALL.

E_1RE_1.3

data	note	SCALA
15.01.2017	rev. 20.12.2017	-
archivio		
C:\Users\Lucilla\Desktop\Comune Di Mirandola\4_Ponte Zalotta\DEFINITIVO ESECUTIVO\consegna\E_1RE_1_3 relazione geotecnica.pdf		
xrif:		

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. ASPETTI GEOLOGICI	5
3.1 Inquadramento geologico - geomorfologico.....	5
3.2 Inquadramento idrogeologico.....	5
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
4.1 Indagini in sito.....	6
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	9
6. FONDAZIONI SU PALI	10
6.1 Modello semplificato del terreno.....	12
6.2 Portanza laterale.....	12
6.3 Portanza di base.....	13
6.4 Condizioni di carico.....	13
6.5 Portanza di progetto del palo singolo SLU.....	13
6.6 Cedimento del palo singolo SLE.....	14
6.7 Portanza di progetto del gruppo di pali allo SLU.....	15
6.8 Cedimento del gruppo di pali SLE.....	16

1. INTRODUZIONE

Vengono presentati e commentati gli aspetti geotecnici dei terreni e dell'interazione del terreno con le strutture di fondazione del nuovo ponte stradale sul canale Diversivo in località Zalotta, tra via Mercadante e via Baccarella, nel Comune di Mirandola.

La presente relazione è finalizzata al calcolo delle strutture agli Stati Limite come indicato per le zone sismiche dalle NTC del 2008, dall'O.P.C.M. 3274/2003 del 20/03/2003 e successive integrazioni e modificazioni, dall'EC7. Considera quindi i coefficienti parziali e di sicurezza definiti dalla normativa in vigore, trascurando quelli riportati nel DM 11.03.88 relativi a calcoli eseguiti con il metodo delle tensioni ammissibili.

Per la nuova costruzione, è stata adottata una tipologia ad unica campata e carreggiata a doppio senso di marcia, con struttura in calcestruzzo, travi a T in cemento armato precompresso e fondazioni profonde su pali.

Sono previste anche opere di sistemazione dell'alveo e di protezione delle sponde mediante il rivestimento con massi di sasso trachitico di cava per una distanza di 20 m a monte e a valle dell'asse longitudinale del ponte.

Per quanto riguarda la struttura dell'opera in oggetto, si definiscono i seguenti parametri (NTC 20008):

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

VITA NOMINALE	V_N	50 anni
CLASSE D'USO		III
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1.5
PERIODO DI RIFERIMENTO	V_R	75 anni

L'area di intervento è sismica di 3^a categoria ed è quindi caratterizzata dai seguenti indici:

- accelerazione **ag** = accelerazione orizzontale massima del terreno = 0,15 g ;

I parametri sono stati tutti calcolati, in funzione del periodo di ritorno T_R , mediante l'utilizzo del foglio di calcolo "Spettri di risposta" vers. 1.0.3 fornito dal C.S. LL.PP.

Coordinate sito: **LAT: 44.873966 LONG: 11.034488**

In particolare, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* (s) per i periodi di ritorno T_r associati a ciascuno stato limite sono riassunti nella seguente tabella:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0,046	2,523	0,265
SLD	75	0,059	2,491	0,275
SLV	712	0,170	2,559	0,273
SLC	1462	0,228	2,494	0,282

- il terreno, alla luce delle indagine eseguite, viene classificato come **suolo di categoria C** "Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)", dove V_{s30} , che rappresenta la velocità delle onde di taglio entro i primi trenta metri di profondità valutata come media pesata tra quelle appartenenti ai suddetti strati, è stata valutata attraverso la prova SCPTU, che indica un valore di **196.07 m/sec**;
- L'area presenta una superficie topografica sub-orizzontale e pertanto appartiene alla categoria T1 e conseguentemente non è suscettibile di amplificazione topografica.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministero Dei Lavori Pubblici 11 Marzo 1988

“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.”

(G.U. 1/6/1988, n. 127 suppl.)

Circolare Ministero Dei Lavori Pubblici, N.30483

(Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale, 24 settembre 1988)

“Legge 2 febbraio 1974 n. 64, art. 1 - D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.”

Eurocodice 7 (Norma Italiana Sperimentale)

UNI ENV 1997-1 - *Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole Generali*

Ordinanza P.C.M. 3274/2003 del 20/03/2003

“Primi Elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

(Suppl. Ord. N. 72 alla G.U. 8.5.2003, n. 105)

Ordinanza P.C.M. 3316/2003 del 02/10/2003

Modifiche ed integrazioni all’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 /2003 del 20 marzo 2003 recante “Primi Elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

(G.U. 10.10.2003, n.236)

Decreto del P.C.M. 21 ottobre 2003

Disposizioni attuative dell’art. 2, commi 2, 3 e 4 dell’ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, recante “Primi Elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

(G.U. 29.10.2003, n.252)

**COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica**

D.Min.Infr. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", in seguito indicate con NTC 2008.

3. ASPETTI GEOLOGICI

Per quanto concerne gli aspetti geologici ed idrogeologici dell'area interessata da tracciato si rimanda, per una più approfondita conoscenza, alla "Relazione Geologica" ed alla "Relazione idrologica" allegate al progetto esecutivo.

3.1 Inquadramento geologico - geomorfologico

Il profilo stratigrafico dell'area è dominato da sequenze limo-argillose a bassa permeabilità sovrapposte a livelli sabbioso-limosi riferibili alle zone di alveo e canale dei corsi d'acqua appenninici, secondo un modello deposizionale dell'intera pianura a crescita verticale.

Il terreno presenta una buona omogeneità orizzontale ed è costituito essenzialmente da materiale limoso e limoso argilloso per i primi 7 circa dal p.c., passanti a sabbia e sabbia limosa sino a 18-20 metri. Oltre questa profondità si ha un solo dato (prova SCPTU spinta sino a 30 metri). Da 18/20 metri dal p.c. fino a 23 metri si riscontra uno strato argilloso e argilloso limoso, per poi ritrovare sabbie e sabbie limose, presumibilmente di origine glaciale, sino a fondo foro (30 metri)

3.2 Inquadramento idrogeologico

Nell'area in esame in complesso acquifero superficiale, costituito da depositi alluvionali, ospita una falda freatica che in funzione della stagionalità e in occasione di precipitazioni molto abbondante può lambire anche il piano campagna.

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche è stata rinvenuto un livello piezometrico con una soggiacenza di circa 3,0-4,0 m da p.c. (sommità arginale) in equilibrio con il livello idrometrico del canale.

Le falde idriche più superficiali vengono alimentate dalle acque di subalveo del canale Diversivo e dalle precipitazioni meteoriche.

Si rimanda alla relazione geologica redatta dal Dr. Geol. Fabio Francesco Picinotti nel 2014 e dalla Dr.ssa Geol. Mariantonietta Sileo per ulteriori approfondimenti.

Si considera comunque, vista la posizione delle fondazioni, che la falda sia influenzata dal livello del Canale Diversivo, che di fatto richiede la considerazione di parametri che tengano conto di una falda pressoché superficiale, che le indagini del novembre 2016 consentono di definire come segue:

N. prova	SCPTU 1	CPTU2
Livello statico da p.c. in metri	-3.40	-4.10

Non sussistono elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici che possano pregiudicare l'attuazione del progetto.

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1 Indagini in sito

Per la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica dei terreni interessati dall'intervento sono stati eseguiti, nel periodo compreso dall'aprile 2014 al novembre 2016, le seguenti indagini in sito:

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

- indagini dirette:

· n. 6 prove penetrometriche di tipo statico con piezocono CPTU spinte fino alla profondità di 10,0 m da p.c. (effettuate in data 10 aprile 2014);

· n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 10,0 m da p.c. (realizzati ad integrazione in data 16 maggio 2014)

- indagini indirette:

· n. 1 stendimento geofisico tipo MASW (eseguita in data 8 aprile 2014);

- indagini dirette e indirette:

· n. 1 prove penetrometrica statica di tipo meccanico CPTU spinte fino alla profondità di 20,0 m da p.c. (eseguita in novembre 2016);

- n. 1 prove penetrometriche statica elettrica con piezocono sismico SCPTU spinte fino alla profondità di 30,0 m da p.c.(eseguita in novembre 2016);

· n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 15,0 m da p.c.(eseguita in novembre 2016)

atte alla caratterizzazione litostratimetrica, geomeccanica e sismica dei terreni.

Le indagini sono state ubicate sulla planimetria riportata in Tavola 1 – Ubicazione indagini geognostiche.

Durante l'esecuzione del foro di sondaggio sono state eseguite le seguenti operazioni:

- estrazione di campioni indisturbati, successivamente riposti in cassette catalogatrici (vedi relazione geologica).

Le indagini del 2014 consentono di evidenziare la seguente stratigrafia dei suoli:

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Livello	Profondità		Litologia prevalente	Comportamento
	da (m)	a (m)		
R	0,00	0,65-1,4	Asfalto, riporto e massicciata stradale	
A	0,65-1,4	1,0 – 1,7	Sabbia limosa	incoerente
B	1,0 – 1,7	1,2- 1,7	Limo sabbioso	coesivo
C	1,2 – 1,7	7,0 – 7,5	Argilla limosa	coesivo
D	7,0 -7,5	10,0	Sabbia, sabbia limosa	incoerente

La stima dei parametri geotecnici caratteristici, ottenuti da elaborazioni numeriche delle prove penetrometriche, può essere riassunta come segue:

Livello	Comportamento	Profondità		γ (kN/m ³)	Cu (Kpa)	ϕ' (°)	c' (KPa)	M (Mpa)
		da (m)	a (m)					
R	-	0,00	0,65 - 1,4	-	-	-	-	-
A	incoerente	0,65 - 1,4	1,0 - 1,7	13,0 – 15,0	0,0	32 - 34		4,0 – 6,0
B	coesivo	1,0 – 1,7	1,2 - 1,7	15,0 – 17,0	12 - 15	24 - 26	4 - 5	2,5 – 3,0
C	coesivo	1,2 – 1,7	7,0 – 7,5	18,0 – 19,0	35 - 45	22 - 24	18 - 20	2,6 – 3,2
D	incoerente	7,0 – 7,5	10,0	16,0 – 17,0	0,0	36 - 38		40 - 60

Le indagini del 2016 si possono riassumere con le seguenti stratificazioni:

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Da -0.00 a -6.70 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso
Natura del terreno	Coesiva
Peso di Volume Y kN/m ³	17.99
Coesione non drenata Cu kPa	92.85
Modulo edometrico Mo MPa	17.77
Da -6.70 a -20.00 metri dal p.c.	
Litologia	Sabbia limosa
Natura del terreno	Granulare
Peso di Volume Y kN/m ³	18.97
Densita' relativa Dr	60.61
Angolo d'attrito interno φ (°)	40.68

Prova CPTU (20 metri)

**COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica**

Da -0.00 a -6.80 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso
Natura del terreno	Coesiva
Peso di Volume Y kN/m ³	18.03
Coesione non drenata Cu kPa	95.07
Modulo edometrico Mo MPa	19.23
Da -6.80 a -17.80 metri dal p.c.	
Litologia	Sabbia limosa
Natura del terreno	Granulare
Peso di Volume Y kN/m ³	19.04
Densita' relativa Dr	63.37
Angolo d'attrito interno ϕ (°)	41
Da -17.80 a -23.00 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso
Natura del terreno	Coesiva
Peso di Volume Y kN/m ³	17.50
Coesione non drenata Cu kPa	122.1
Modulo edometrico Mo MPa	18.2
Da -23.00 a -30.00 metri dal p.c.	
Litologia	Sabbia limosa
Natura del terreno	Granulare
Peso di Volume Y kN/m ³	19.39
Densita' relativa Dr	61.31
Angolo d'attrito interno ϕ (°)	40.8

Prova SCPTU (30 metri)

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

In base alle indagini effettuate é possibile rilevare la presenza di alternanze di limi ed argille con presenza di strati di sabbie da fini a medie.

**COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica**

Le prove in sito e le analisi di laboratorio presentate nel paragrafo precedente hanno permesso di definire un profilo geotecnico semplificato dell'area di indagine caratterizzato dalla presenza delle seguenti unità geotecniche:

Unità 1: Materiale limoso e limoso argilloso fino a profondità di -7,00 m dal p.c. attuale;

Unità 2: Materiale sabbioso e sabbioso limoso da -7,00 m dal p.c. attuale fino a profondità di -18/20 metri dal p.c. attuale;

Unità 3: Materiale argilloso e argilloso limoso da -18/20,00 m dal p.c. attuale fino a profondità di -23 metri dal p.c. attuale;

Unità 4: Materiale sabbioso e sabbioso limoso presumibilmente di origine glaciale da -23 m dal p.c. attuale fino a fondo foro.

I valori dei parametri geotecnici desunti dalle indagini geognostiche sono riassunti in tabella (5.1).

Tab. 5.1 – Parametri geotecnici

Unità	ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	E_{OED} (MPa)	γ (kN/m ³)
1	-	-	93	18	18.00
2	41	-	-	2.5÷3.5	19.00
3	-	-	122	18	17.00

Legenda: ϕ' = angolo di attriti efficace, c' = coesione efficace e γ = peso specifico naturale, E_{OED} = modulo confinato, c_u = coesione non drenata.

6. FONDAZIONI SU PALI

Le stratigrafie riscontrate ed i carichi indotti dall' impalcato previsto, richiedono l'utilizzo di fondazioni indirette. In particolare si prevede l'utilizzo di pali trivellati di grande diametro (Ø800) posti in gruppo e distanziati tra loro di almeno 3Ø.

Le verifiche vengono eseguite agli stati limite considerando, per il calcolo allo SLU delle fondazioni, i coefficienti relativi alla tabella 6.2.1 (NTC 2008).

Tab. 6.1 Approccio 1 – Coefficienti parziali: SLU

AZIONI Permanenti		A1 (STRU) Accidentali	CARATTERISTICHE DEL TERRENO M1(GEO)			
sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	tan(φ')	c'	c _u	q
1,3	1	1,5	1.0	1.0	1.0	1.0

Tab. 6.2 Approccio 2 – Coefficienti parziali: SLU

AZIONI Permanenti		A2 (STRU) Accidentali	CARATTERISTICHE DEL TERRENO M2(GEO)			
sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	tan(φ')	c'	c _u	q
1	1	1,3	1,25	1,25	1,4	1

Il carico di progetto V_d sarà quindi definito dall'espressione:

$$V_d = 1.30 G_k + 1.50 \sum_j F_{k,j} \quad (\text{Approccio 1})$$

$$V_d = 1.00 G_k + 1.30 \sum_j F_{k,j} \quad (\text{Approccio 2})$$

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Essendo G_k il carico permanente e F_k il contributo dei carichi accidentali per le diverse combinazioni di carico.

Un palo è in grado di sostenere il carico di progetto con adeguata sicurezza nei confronti della rottura per carico limite, qualora la seguente disuguaglianza venga soddisfatta per tutte le condizioni e per tutte le combinazioni di carico, relative allo stato limite ultimo:

$$V_d \leq R_d$$

essendo R_d il carico limite di progetto.

Per determinare il carico limite di progetto occorre considerare il valore caratteristico del carico limite come somma dei contributi di portanza laterale ($R_{s,k}$) e portanza di base ($R_{b,k}$), ovvero:

$$R_{t,k} = R_{s,k} + R_{b,k}$$

Il carico limite di progetto del singolo palo viene quindi definito dall'espressione:

$$R_d = R_{s,k} / \gamma_s + R_{b,k} / \gamma_b$$

I coefficienti di sicurezza, per pali trivellati, sono quelli riportati nel prospetto , e vengono proposti in tabella 6.2.

Tab. 6.2 Coefficienti di sicurezza per pali trivellati

	γ_b	γ_s	γ_t
Coefficiente	1.60	1.30	1.50

6.1 Modello semplificato del terreno

Per il calcolo, visti i risultati delle indagini geognostiche e le relative relazioni geologiche, si considera un terreno caratterizzato da tre unità caratterizzate da parametri geotecnici come indicato nella precedente tabella 5.1. Vista la natura del terreno, agendo in termini di tensioni totali, le variazioni della falda, legate strettamente al livello del canale Diversivo, viene considerata nella determinazione del parametro di coesione non drenata (c_u) essendo il logaritmo di questo legato all'umidità (Atkinsons, J. (1997) Geotecnica, McGraw-Hill). Il valore della coesione non drenata considerato per i calcoli, compatibilmente con i valori rilevati durante l'esecuzione dei sondaggi, è uguale ai valori riportati in tabella 5.1 parametri geotecnici.

6.2 Portanza laterale

Nel caso di materiali coesivi, la portanza laterale specifica, in termini di tensioni totali viene valutata mediante l'espressione:

$$T_s = \alpha \cdot c_u$$

dove α è un parametro compreso tra 0 e 1 che decresce all'aumentare della coesione non drenata e che viene definito dall'espressione:

$$\alpha = [(cu/\sigma'_v)_{NC}]^{0.5} / (cu/\sigma'_v)^\eta$$

con $\eta = 0.50$ per $cu/\sigma'_v \leq 1$ e $\eta = 0.25$ per $cu/\sigma'_v > 1$.

Le Raccomandazioni AGI (1984) riportano valori di α variabili con la cu (per pali trivellati).

Si considera comunque un valore limite di 100 kPa per la resistenza specifica laterale τ_s in terreni coesivi.

6.3 Portanza di base

Nel caso di terreni coesivi la portanza specifica di punta viene data dall'espressione:

$$q_b = N_c \cdot c_u$$

dove N_c rappresenta il coefficiente di capacità portante ed è, per rapporti profondità/diametro superiori a 4, uguale a 9.

6.4 Condizioni di carico

Le condizioni di carico verificate (vedi E_1RE_1.2 "Relazione di calcolo strutture") determinano le azioni sul singolo palo maggiormente caricato.

Il palo maggiormente sollecitato è soggetto alla sollecitazione di taglio $V_{ed} = 51\text{kN}$, a fronte di una resistenza al taglio per compressione del cls pari a $V_{rzd} = 1331\text{ kN}$ ed una resistenza a taglio per trazione delle staffe $V_{rzd,s} = 336\text{ kN}$.

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

PALI - VERIFICHE A TAGLIO

Plinto su Pali 1	Fondazione	
CS		6,55
VEd		51.318
VRcd	1.331.206	0
VRsd,s	336.342	0
ASw		0,0503
SASw		20

LEGENDA:

- CS** Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS \geq 100; [VNR] = Verifica Non Richiesta).
- VEd** Massima sollecitazione di taglio composta in funzione di $V_{Ed,x}$, $V_{Ed,y}$ e dell'asse neutro. [N]
- VRcd** Resistenza a taglio compressione del calcestruzzo. [N]
- VRsd,s** Resistenza a taglio trazione delle staffe. [N]
- ASw** Area delle staffe per unità di lunghezza. [cm²/cm]
- SASw** Passo massimo staffe da normativa. [cm]

SOLLECITAZIONI E VERIFICHE ALLO SLU

Plinto su Pali 2	Fondazione	
	Dir A	Dir B
HEd		0
MEd,3	445.622	-
VEd,2	262.585	-
AS,s	0,00	-
AS,i	22,50	-
ASw	0,0000	-
AS,pz		0,00
CSpz		-
CSV	1,80	-
CSf	2,85	-

LEGENDA:

- HEd** Sforzo normale di progetto. [N]
- MEd,3** Momento flettente di progetto intorno a 3. [Nm]
- VEd,2** Taglio di progetto in direzione 2. [N]
- AS,s** Armatura superiore. [cm²]
- AS,i** Armatura inferiore. [cm²]
- ASw** Area delle staffe per unità di lunghezza. [cm²/cm]
- AS,pz** Area di ferro per punzonamento. [cm²]
- CSpz** Coefficiente di sicurezza per punzonamento ([NS] = Non Significativo per valori di CS \geq 100; [VNR] = Verifica Non Richiesta).
- CSV** Coefficiente di sicurezza per taglio ([NS] = Non Significativo per valori di CS \geq 100; [VNR] = Verifica Non Richiesta).
- CSf** Coefficiente di sicurezza per flessione ([NS] = Non Significativo per valori di CS \geq 100; [VNR] = Verifica Non Richiesta).

Il palo maggiormente sollecitato per flessione è soggetto alla momento flettente di progetto $M_{Ed,3} = 446$ kNm ed al taglio di progetto $V_{Ed,2} = 263$ kN, con un coefficiente di sicurezza per taglio $C_{sv} = 1,50$ ed un coefficiente di sicurezza per flessione $C_{sf} = 2.85$.

La sezione in cls del palo e le armature risultano verificate agli SLU per le condizioni più gravose.

**COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica**

6.5 Portanza di progetto del palo singolo SLU

La portanza di progetto per lo SLU viene definita integrando le relazioni precedentemente riportate sulla superficie del palo e sulla base.

Il palo utilizzato nel progetto è un palo trivellato di diametro \varnothing 800 e lunghezza 11.00 m con piano di fondazione testa palo a quota - 4,70 m.

I dati relativi alla portanza limite per attrito laterale e per punta, ed il carico limite di progetto sono i seguenti:

**PALI - VERIFICHE A CARICO LIMITE
VERTICALE E ORIZZONTALE ALLO SLU**

Plinto su Pali 2	Fondazione
$Q_{Ed,V}$	312.901
$Q_{Ed,O}$	48.837
$Q_{Rd,V}$	1.677.625
$Q_{Rd,V,Pt}$	1.199.441
$Q_{Rd,V,Lt}$	478.184
$Q_{Rd,O}$	145.756
T.R.	Palo Lungo
$Z_{c,pls}$	2,04
CS_v	5,36
CS_o	2,98

LEGENDA:

$Q_{Ed,V}$	Carico verticale di progetto. [N]
$Q_{Ed,O}$	Carico orizzontale di progetto. [N]
$Q_{Rd,V}$	Resistenza di progetto verticale. [N]
$Q_{Rd,V,Pt}$	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza alla punta. [N]
$Q_{Rd,V,Lt}$	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza laterale. [N]
$Q_{Rd,O}$	Resistenza di progetto orizzontale. [N]
T.R.	Modalità di rottura per carico limite orizzontale (Palo Corto, Palo Medio, Palo Lungo).
$Z_{c,pls}$	Profondità della seconda cerniera plastica. [m]
CS_v	Coefficiente di sicurezza per azioni verticali ([NS] = Non Significativo per valori di $CS \geq 100$; [VNR] = verifica Non Richiesta).
CS_o	Coefficiente di sicurezza per azioni orizzontali ([NS] = Non Significativo per valori di $CS \geq 100$; [VNR] = Verifica Non Richiesta).

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Carico verticale di progetto $Q_{ed,v}$	= 312 kN
Carico orizzontale di progetto $Q_{ed,o}$	= 49 kN
Resistenza verticale di progetto $Q_{rd,v}$	= 1678 kN
Resistenza orizzontale di progetto $Q_{rd,o}$	= 146 kN

Aliquota della resistenza di progetto verticale
dovuto alla resistenza di punta = 1199 kN

Aliquota della resistenza di progetto verticale
dovuto alla resistenza laterale = 478 kN

La verifica è soddisfatta in quanto $Q_{ed,v} < Q_{rd,v}$ e $Q_{ed,o} < Q_{rd,o}$ per a massima sollecitazione agli (SLU) e delle azioni derivanti dal sisma agenti sul palo più sollecitato.

I pali lavorano principalmente di punta, in quanto l' aliquota principale della resistenza di progetto si ottiene per resistenza di punta (71 %).

6.6 Cedimento del palo singolo SLE

È una condizione in esercizio. Il cedimento complessivo è ottenuto come somma dei contributi disaccoppiati di cedimento di punta e laterale. La modellazione non evidenzia cedimenti. La modalità di rottura per carico orizzontale limite avviene per formazione della seconda cerniera plastica a profondità di 2,04 m dalla testa palo.

Per carico di esercizio si ammette quindi un cedimento del palo singolo inferiore a 0.5 cm.

6.7 Portanza di progetto del gruppo di pali allo SLU

La portanza di progetto per lo SLU viene definita integrando le relazioni precedentemente riportate sulla superficie di volume pari all'ammasso composto dai pali disposti in gruppo e delimitato dai pali posti sulla fila esterna.

La fondazione si considera formata da due gruppi di 5 pali $\varnothing 800$ disposti su due corsi differenti, ciascuno di 2 pali (maglia 2 x 5) distanziati tra loro di 2,40 m.

$$R_d = (R_{s,k} + R_{b,k}) / \gamma_t .$$

Devono essere soddisfatte entrambe le verifiche, sia quelle sul singolo palo che sul gruppo di pali. La portanza del gruppo viene definita come la minima tra la portanza del blocco e la portanza della somma delle portanze dei singoli pali costituenti il blocco.

6.8 Cedimento del gruppo di pali SLE

Nel caso del gruppo, i cedimenti del singolo palo, vengono incrementati tenendo conto dell'impronta complessiva del gruppo. In genere si considera che il rapporto tra il cedimento del gruppo di pali (s_G) ed il cedimento del palo singolo (w) sia dato dall'espressione (US Army Corps of Engineers):

$$s_G / w \approx (B / \varnothing)^{0.5}$$

essendo B la dimensione massima del gruppo di pali e \varnothing il diametro del singolo palo.

COMUNE DI MIRANDOLA Progetto definitivo-esecutivo
RIPRISTINO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL PONTE STRADALE
SUL CANALE DIVERSIVO, TRA VIA MERCADANTE E VIA BACCARELLA,
LOCALITA' ZALOTTA
E_1RE_1.3 Relazione geotecnica

Nel caso in esame, considerando la maglia descritta precedentemente (due gruppi di pali 2 x 2) con pali distanziati di 2,40 m, il rapporto tra il cedimento del gruppo e quello del palo singolo risulta uguale a:

$$s_G / w \approx (15)^{0.5} \approx 3,87$$

visti i valori del palo singolo (pari a 0,5 cm), il cedimento del gruppo risulterà inferiore a 1,9 cm.

In particolare la modellazione evidenzia uno spostamento in direzione verticale nelle due direzioni x e y dell'impalcato rispetto al piano di fondazione testa palo pari a zero (< 1,5 cm di spostamento differenziale ammissibile, < 1 cm di spostamento differenziale ammissibile per lo SLO).

PIANI - VERIFICHE AGLI SPOSTAMENTI

Id Piano	Q _{Lv} [m]	H _{Lv} [m]	δ _{d,X} [cm]	δ _{d,Y} [cm]	C _{lg} T _{mp}	δ _{lim} [cm]	δ _{lim} - δ _{d,X} [cm]	δ _{lim} - δ _{d,Y} [cm]	Piani - Verifiche
									Note
Piano Terra	0,00	3,00	0,0000	0,0000	R	1,5000	1,5000	1,5000	Verificato

LEGENDA:

- Id_{Piano}** Identificativo del livello o piano.
- Q_{Lv}** Quota del livello o piano.
- H_{Lv}** Altezza del livello o piano.
- C_{lg} T_{mp}** Tipo di collegamento delle tamponature alla struttura: [R] = Rigido - [E] = Elastico - [RF] = Rigidamente fragili - [RD] = Rigidamente Duttili.
- δ_{lim}** Valore limite dello spostamento differenziale indicato dalla normativa.
- δ_{d,X} δ_{d,Y}** Componenti dello spostamento differenziale rispetto al piano inferiore.

PIANI - VERIFICHE ALLO SLO (Elevazione)

Id Piano	Q _{Lv} [m]	H _{Lv} [m]	δ _{amm,SLO} [cm]	δ _{d,SLO}		Δδ _{SLO}		C _{lg} T _{mp}	Piani - Verifiche allo SLO	Note
				X	Y	X	Y			
				[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			
Piano Terra	0,00	3,00	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	R	Verificato	

LEGENDA:

- Id_{Piano}** Identificativo del livello o piano.
- Q_{Lv}** Quota del livello o piano.
- H_{Lv}** Altezza del livello o piano.
- δ_{amm,SLO}** Spostamento Differenziale ammissibile per SLO.
- δ_{d,SLO}** Spostamento Differenziale di progetto allo SLO.
- Δδ_{SLO}** Differenza fra spostamento limite e quello di calcolo nelle direzioni X e Y.
- C_{lg} T_{mp}** Tipo di collegamento delle tamponature alla struttura: [R] = Rigido - [E] = Elastico - [RF] = Rigidamente fragili - [RD] = Rigidamente Duttili.