



LAVORI DI ADEGUAMENTO DELL'OPERA D'ARTE (PONTE N. 178) SULLA S.P. 18 "JESI-MONTERADO" AL KM 24+225 SUL TORRENTE NEVOLA - COD. INT. 80.02

CUP: H61B19000370003 - CIG: 85379191A6

PROGETTO ESECUTIVO

Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO DEI PALI DI FONDAZIONE

Visti:

Impresa Appaltatrice



Impresa Appaltatrice: **CONSORZIO ACREIDE s.c.a.r.l.**
sede: Via Michelangelo Buonarroti n. 56, Zola Predosa (BO)
C.F./P.IVA : 03811731201

Consoziata Esecutrice



Responsabile dell'Area e R.U.P. :

Ing. Monica Ulissi

Direttore dei Lavori :

Ing. Stefano Vignati

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti:

Arch. Alfonso Sorrento (Capogruppo-Mandatario)

Ing. Marco Santangelo (Mandante)

Ing. Luigi Fazio (Mandante)

Ing. Giuseppe Montecristo (Mandante)

Ing. Antonino Carmelo Milazzo (Mandante)

Consulenza Strutturale

Ing. Nicola Del Ciotto (società Valeo s.r.l.)

Staff di Progettazione :

Ing. Giuseppe Riggio

Geom. Enrico Leonardi

argomento tavola:

RELAZIONE

data:

Giugno 2024

revisione:

03_04-06-2024

scala:

elaborato:

02

allegato / tavola :

02- STR

1. OGGETTO	2
2. COMBINAZIONI DI VERIFICA	3
3. SPALLA.....	5
3.1 Sollecitazioni	5
3.1.1 Sollecitazioni allo SLU	5
3.1.2 Sollecitazioni agli SLE Rara.....	6
3.1.3 Sollecitazioni agli SLE Frequente	7
3.1.4 Sollecitazioni agli SLE Quasi permanente	7
3.2 Verifiche	8
3.2.1 Verifiche a flessione SLU	8
3.2.2 Verifiche Limitazione tensione SLE Rara.....	9
3.2.3 Verifiche Limitazione tensione SLE Frequente	10
3.2.4 Verifiche Limitazione tensione SLE Quasi Permanente	11
4. PALI.....	12
4.1 Sollecitazioni	12
4.1.1 Sollecitazioni allo SLU	12
4.1.2 Sollecitazioni agli SLE Rara.....	13
4.1.3 Sollecitazioni agli SLE Frequente	13
4.1.4 Sollecitazioni agli SLE Quasi permanente	14
4.2 Verifiche strutturali.....	14
4.2.1 Verifiche a flessione SLU	15
4.2.2 Verifiche Limitazione tensione SLE Rara.....	16
4.2.3 Verifiche Limitazione tensione SLE Frequente	17
4.2.4 Verifiche Limitazione tensione SLE Quasi Permanente	18
4.3 Verifiche geotecniche	19
4.3.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE	19
4.3.2 CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI DI FONDAZIONE.....	21

1. OGGETTO

La presente relazione costituisce parte integrante del progetto esecutivo nell'ambito dei lavori di "Adeguamento dell'opera d'arte (ponte n. 178 – torrente Nevola) – Comune di Trecastelli loc. Passo Ripe – Reparto operativo di Senigallia".

Il manufatto è un ponte a campata unica di luce netta fra le spalle di 46,00 m con impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo.

La presente relazione riguarda il calcolo delle spalle e dei pali di fondazione.

Vengono definiti Integrali i ponti che presentano una spalla fondata su pali solidarizzata all'impalcato mediante un collegamento rigido che può essere realizzato con varie tecnologie. Il risultato di tale connessione è una struttura dotata di nodi in cui si ha trasmissione delle sollecitazioni normali, taglianti e flettenti dall'impalcato alla spalla e viceversa.

La struttura risulta quindi essere assimilabile ad un portale al quale sono contemporaneamente applicati i carichi tipici degli impalcato da ponte e delle spinte del terreno.

Si ha quindi trasmissione delle sollecitazioni tra spalla ed impalcato secondo lo schema seguente:

Impalcato	Spalla
Momento flettente	Momento flettente
Sforzo normale	Taglio
Taglio	Sforzo normale

2. COMBINAZIONI DI VERIFICA

Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU) - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR) - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V per i parametri geotecnici e le azioni.

- Approccio 1 - Combinazione 1 $\rightarrow (A1+M1+R1) \rightarrow STR$
- Approccio 2 $\rightarrow (A1+M1+R3) \rightarrow GEO$

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Coefficienti parziali γ_R per la resistenza del sistema.

Per la condizione sismica le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali sopra indicati (7.11.1 NTC).

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1+G2+ \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per opere del tipo in oggetto è lecito assumere valore nullo per il coefficiente ψ_{2i} .

La combinazione direzionale dell'azione sismica è stata effettuata sulla base delle seguenti formule:

$$E = \pm E_x \pm 0.3 E_y \pm 0.3 E_z \quad \text{combinazione "SISMA LONGITUDINALE"}$$

$$E = \pm E_y \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_z \quad \text{combinazione "SISMA TRASVERSALE"}$$

$$E = \pm 0.3 E_y \pm 0.3 E_x \pm E_z \quad \text{combinazione "SISMA VERTICALE"}$$

3. SPALLA

3.1 Sollecitazioni

Le sollecitazioni sono quelle derivanti dal modello di calcolo e riportate nella seguente tabella per le combinazioni di carico analizzate.

3.1.1 Sollecitazioni allo SLU

Etichette di riga	Max di M3	Max di V2	Max di V3	Min di P
A_01_SLU_00	4963,3399	255,395	227,582	-1465,369
A_01_SLU_01	8761,2969	472,253	365,652	-2069,537
A_01_SLU_02	7610,5457	363,768	331,4	-1893,625
A_01_SLU_03	7667,5605	378,974	339,456	-1896,738
A_01_SLU_04	8681,2868	471,737	353,341	-2065,751
A_01_SLU_05	4948,3398	256,255	248,1	-1471,679
A_01_SLU_06	7390,2976	400,283	300,824	-1617,411
A_01_SLU_07	6239,5465	291,798	266,572	-1441,499
A_01_SLU_08	6296,5612	307,004	274,627	-1444,612
A_01_SLU_09	7310,2876	399,768	288,513	-1613,625
A_01_SLU_10	3577,3406	184,285	183,272	-1019,553
A_02_SLU_01	8408,1969	483,916	394,34	-1983,491
A_02_SLU_02	7371,8633	362,309	347,516	-1829,522
A_02_SLU_03	7371,7285	380,34	355,449	-1832,382
A_02_SLU_04	8418,1656	483,4	382,029	-1983,773
A_02_SLU_05	4948,3398	256,255	248,1	-1471,679
A_02_SLU_06	6998,8964	411,946	329,512	-1546,071
A_02_SLU_07	5962,5628	290,339	282,688	-1385,807
A_02_SLU_08	5962,428	308,37	290,62	-1386,56
A_02_SLU_09	7008,8652	411,43	317,201	-1546,354
A_02_SLU_10	3577,3406	184,285	183,272	-1019,553
SISMA SLV	3861,1907	404,357	266,148	-1106,889

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	8761,29	483,91	394,34	-2069,53

3.1.2 Sollecitazioni agli SLE Rara

Per la combinazione rara, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_01_SLE_00_Rara	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34
A_01_SLE_01_Rara	-1451,99	342,17	261,99	-5422,31
A_01_SLE_02_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_03_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_04_Rara	-1449,47	341,83	253,79	-5384,22
A_01_SLE_05_Rara	-1015,77	183,77	170,96	-3331,82
A_01_SLE_06_Rara	-1451,99	342,17	261,99	-5422,31
A_01_SLE_07_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_08_Rara	-1300,55	256,16	237,91	-4645,74
A_01_SLE_09_Rara	-1449,47	341,83	253,79	-5384,22
A_01_SLE_10_Rara	-1015,77	183,77	170,96	-3331,82

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	5422,31	342,17	261,99	-1451,99

3.1.3 Sollecitazioni agli SLE Frequente

Per la combinazione Frequente, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga 	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_01_SLE_00_Frequente	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34
A_01_SLE_01_Frequente	-1341,25	302,34	233,76	-4815,84
A_01_SLE_02_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_03_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_04_Frequente	-1340,41	302,23	231,03	-4826,35
A_01_SLE_05_Frequente	-1014,08	183,54	165,49	-3352,83
A_01_SLE_06_Frequente	-1341,25	302,34	233,76	-4815,84
A_01_SLE_07_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_08_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_09_Frequente	-1340,41	302,23	231,03	-4826,35
A_01_SLE_10_Frequente	-1014,08	183,54	165,49	-3352,83

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	4826,35	302,34	233,76	-1341,25

3.1.4 Sollecitazioni agli SLE Quasi permanente

Per la combinazione Frequente, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga 	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_00_SLE_Quasi permanente	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34

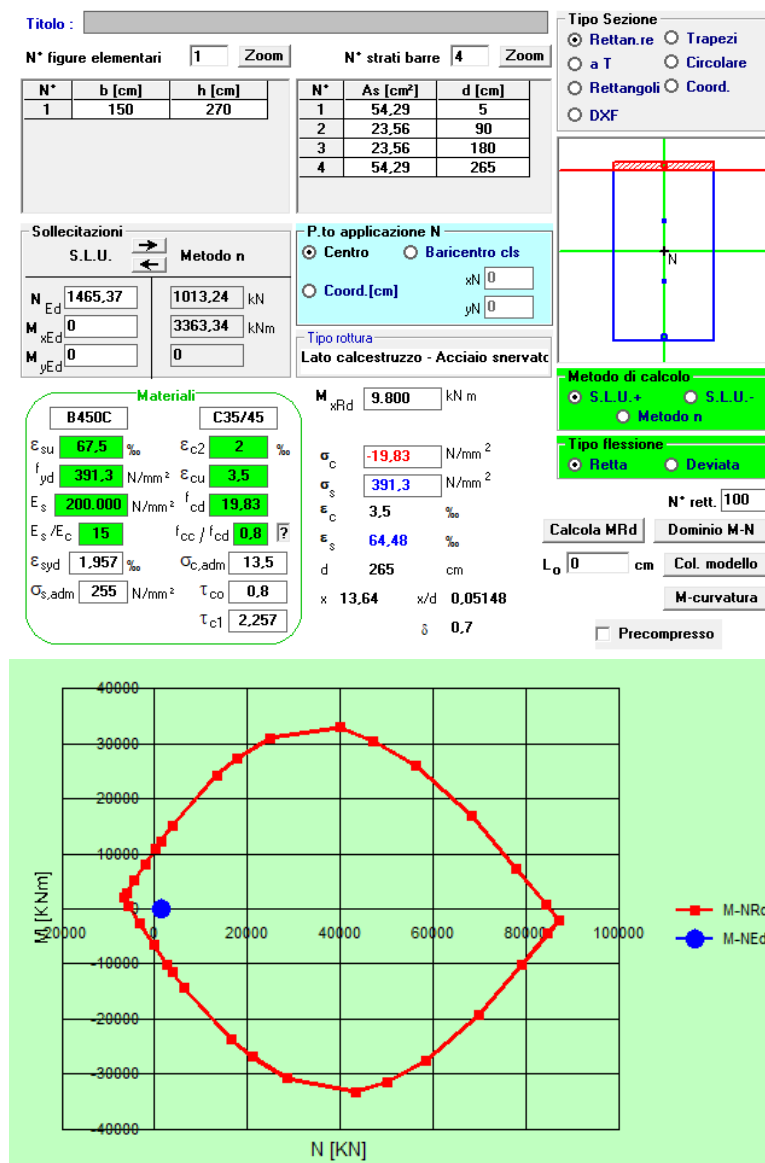
3.2 Verifiche

La sezione resistente è pari a 150x270 cm con una armatura costituita da 4 strati: 1 ϕ 24/12,5 cm, e strati 1 ϕ 20/20 cm e l'ultimo strato 1 ϕ 24/12,5 cm

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

3.2.1 Verifiche a flessione SLU

A favore di sicurezza si considera il solo contributo dello sforzo normale dovuto ai pesi propri ed ai carichi permanenti in quanto sempre presenti.



8761,29 < 9800 → Verifica soddisfatta.

3.2.2 Verifiche Limitazione tensione SLE Rara

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo :

N° strati barre **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	150	270

N°	As [cm²]	d [cm]
1	54,29	5
2	37,70	90
3	37,70	180
4	54,29	265

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.
☐ DXF

Sollecitazioni

S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N Ed **1451,99** kN
M xEd **5422,31** kNm
M yEd **0**

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Materiali

B450C **C35/45**

ϵ_{su} **67,5** ‰ ϵ_{c2} **2** ‰
 f_{yd} **391,3** N/mm² ϵ_{cu} **3,5** ‰
 E_s **200.000** N/mm² f_{cd} **19,83**
 E_s/E_c **15** f_{cc}/f_{cd} **0,8** ?
 ϵ_{syd} **1,957** ‰ $\sigma_{c,adm}$ **13,5**
 $\sigma_{s,adm}$ **255** N/mm² τ_{co} **0,8**
 τ_{c1} **2,257**

σ_c **-5,357** N/mm²
 σ_s **223,2** N/mm²
 ϵ_s **1,116** ‰
d **265** cm
x **70,15** x/d **0,2647**
 δ **0,7709**

Verifica

N° iterazioni:

☐ Precompresso

$$\sigma_{c,max}=5,35 < 0,60 \times 35 = 21 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{s,max}=223,20 < 0,80 \times 450 = 360 \text{ Mpa}$$

3.2.3 Verifiche Limitazione tensione SLE Frequente

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo :

N° strati barre **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	150	270

N°	As [cm²]	d [cm]
1	54,29	5
2	37,70	90
3	37,70	180
4	54,29	265

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

☐ DXF

Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

Materiali

B450C **C35/45**

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_s ‰

d cm

x x/d δ

Verifica

N° iterazioni:

☐ Precompresso

$$\sigma_{c,max}=4,76 < 0,45 \times 35 = 15,75 \text{ Mpa}$$

3.2.4 Verifiche Limitazione tensione SLE Quasi Permanente

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo :

N° strati barre **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	150	270

N°	As [cm²]	d [cm]
1	54,29	5
2	37,70	90
3	37,70	180
4	54,29	265

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

Sollecitazioni
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐
 N_{Ed} 1013,24 kN
 M_{xEd} 3363,34 kNm
 M_{yEd} 0

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

Materiali
 B450C C35/45
 ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Verifica
 N° iterazioni:
☐ Precompresso

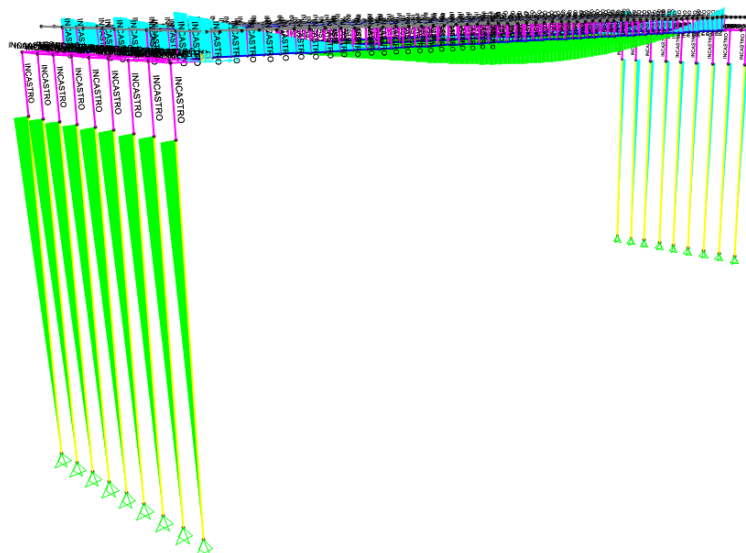
$$\sigma_{c,max} = 3,31 < 0,45 \times 35 = 15,75 \text{ Mpa}$$

Le tensioni risultano assolutamente contenute e quindi le verifiche risultano soddisfatte.

4. PALI

4.1 Sollecitazioni

Le sollecitazioni sono quelle derivanti dal modello di calcolo e riportate graficamente nella seguente immagine:



nelle seguenti tabelle si riportano le sollecitazioni per le combinazioni di carico analizzate.

4.1.1 Sollecitazioni allo SLU

Etichette di riga	Max di M3	Max di V2	Max di V3	Min di P
A_01_SLU_00	4963,3399	255,395	227,582	-1465,369
A_01_SLU_01	8761,2969	472,253	365,652	-2069,537
A_01_SLU_02	7610,5457	363,768	331,4	-1893,625
A_01_SLU_03	7667,5605	378,974	339,456	-1896,738
A_01_SLU_04	8681,2868	471,737	353,341	-2065,751
A_01_SLU_05	4948,3398	256,255	248,1	-1471,679
A_01_SLU_06	7390,2976	400,283	300,824	-1617,411
A_01_SLU_07	6239,5465	291,798	266,572	-1441,499
A_01_SLU_08	6296,5612	307,004	274,627	-1444,612
A_01_SLU_09	7310,2876	399,768	288,513	-1613,625
A_01_SLU_10	3577,3406	184,285	183,272	-1019,553
A_02_SLU_01	8408,1969	483,916	394,34	-1983,491
A_02_SLU_02	7371,8633	362,309	347,516	-1829,522
A_02_SLU_03	7371,7285	380,34	355,449	-1832,382
A_02_SLU_04	8418,1656	483,4	382,029	-1983,773
A_02_SLU_05	4948,3398	256,255	248,1	-1471,679
A_02_SLU_06	6998,8964	411,946	329,512	-1546,071
A_02_SLU_07	5962,5628	290,339	282,688	-1385,807
A_02_SLU_08	5962,428	308,37	290,62	-1386,56
A_02_SLU_09	7008,8652	411,43	317,201	-1546,354
A_02_SLU_10	3577,3406	184,285	183,272	-1019,553
SISMA SLV	3861,1907	404,357	266,148	-1106,889

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	8761,29	483,91	394,34	-2069,53

4.1.2 Sollecitazioni agli SLE Rara

Per la combinazione rara, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga 	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_01_SLE_00_Rara	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34
A_01_SLE_01_Rara	-1451,99	342,17	261,99	-5422,31
A_01_SLE_02_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_03_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_04_Rara	-1449,47	341,83	253,79	-5384,22
A_01_SLE_05_Rara	-1015,77	183,77	170,96	-3331,82
A_01_SLE_06_Rara	-1451,99	342,17	261,99	-5422,31
A_01_SLE_07_Rara	-1298,87	255,93	232,44	-4666,76
A_01_SLE_08_Rara	-1300,55	256,16	237,91	-4645,74
A_01_SLE_09_Rara	-1449,47	341,83	253,79	-5384,22
A_01_SLE_10_Rara	-1015,77	183,77	170,96	-3331,82

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	5422,31	342,17	261,99	-1451,99

4.1.3 Sollecitazioni agli SLE Frequente

Per la combinazione Frequente, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga 	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_01_SLE_00_Frequente	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34
A_01_SLE_01_Frequente	-1341,25	302,34	233,76	-4815,84
A_01_SLE_02_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_03_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_04_Frequente	-1340,41	302,23	231,03	-4826,35
A_01_SLE_05_Frequente	-1014,08	183,54	165,49	-3352,83
A_01_SLE_06_Frequente	-1341,25	302,34	233,76	-4815,84
A_01_SLE_07_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_08_Frequente	-1226,41	237,66	211,60	-4354,04
A_01_SLE_09_Frequente	-1340,41	302,23	231,03	-4826,35
A_01_SLE_10_Frequente	-1014,08	183,54	165,49	-3352,83

	Momento (kNm)	Taglio lungo X (kN)	Taglio lungo Y (kN)	Sforzo normale (kN)
Sollecitazioni di verifica	4826,35	302,34	233,76	-1341,25

4.1.4 Sollecitazioni agli SLE Quasi permanente

Per la combinazione Frequente, viene verificato solamente l'elemento maggiormente sollecitato, per tutti gli altri a parità di sezione le verifiche si ritengono automaticamente soddisfatte.

Etichette di riga 	Min di P	Max di V2	Max di V3	Min di M3
A_00_SLE_Quasi permanente	-1013,24	183,43	162,75	-3363,34

4.2 Verifiche strutturali

La sezione resistente è pari a 110 cm di diametro con una armatura a doppia corona costituita da 60 ϕ 30

4.2.1 Verifiche a flessione SLU

A favore di sicurezza si considera il solo contributo dello sforzo normale dovuto ai pesi propri ed ai carichi permanenti in quanto sempre presenti.

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 75 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 36
 Diametro barre: 3 [cm]
 Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	7,06	0	61
2	7,06	16	59
3	7,06	31	53
4	7,06	43	43
5	7,06	53	31
6	7,06	59	16

Tipologia Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☒ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.
☐ DXF

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 1465,37 kN
 M_{xEd}: 0 kNm
 M_{yEd}: 0 kNm

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{su}: 67,5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391,3 N/mm² ε_{cu}: 3,5 ‰
 E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 14,17 N/mm²
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8
 ε_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 9,75 N/mm²
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,6
 τ_{c1}: 1,829

M_{xRd}: 8.853 kNm
 σ_c: -14,17 N/mm²
 σ_s: 391,3 N/mm²
 ε_c: 3,5 ‰
 ε_s: 6,233 ‰
 d: 142 cm
 x: 51,06 cm x/d: 0,3596
 δ: 0,8895

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀: 0 cm Col. modello
 M-curvatura
☐ Precompresso

8761,29 < 8853 → Verifica soddisfatta.

4.2.2 Verifiche Limitazione tensione SLE Rara

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 75 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 36
 Diametro barre: 3 [cm]
 Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre 24 **Zoom**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	7,06	0	61
2	7,06	16	59
3	7,06	31	53
4	7,06	43	43
5	7,06	53	31
6	7,06	59	16

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

Sollecitazioni
 S.L.U. ☒ Metodo n

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

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

Materiali
 B450C C25/30
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

σ_c -14,99 N/mm²
 σ_s 316,6 N/mm²
 ϵ_s 1,583 ‰
 d 142 cm
 x 59,04 x/d 0,4158
 δ 0,9597

Vertici: 52
 Verifica
 N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

$$\sigma_{c,max} = 14,99 < 0,60 \times 30 = 15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{s,max} = 316,60 < 0,80 \times 450 = 360 \text{ Mpa}$$

4.2.3 Verifiche Limitazione tensione SLE Frequente

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno [cm]
 Raggio interno [cm]
 N° barre uguali
 Diametro barre [cm]
 Copriferro (baric.) [cm]

N° barre

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	7,06	0	61
2	7,06	16	59
3	7,06	31	53
4	7,06	43	43
5	7,06	53	31
6	7,06	59	16

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

Sollecitazioni
☒ S.L.U. ☐ Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

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

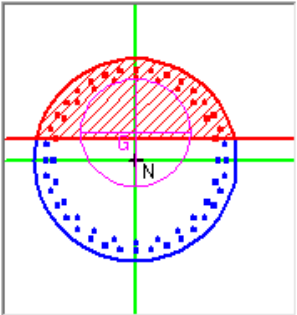
Materiali
☒ B450C ☐ C25/30
 ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} N/mm²
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} N/mm²
 τ_{c1} N/mm²

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Vertici:

 N° iterazioni:
☐ Precompresso



$$\sigma_{c,max}=10,38 < 0,45 \times 25 = 11,25 \text{ Mpa}$$

4.2.4 Verifiche Limitazione tensione SLE Quasi Permanente

La verifica consiste nel controllo delle limitazioni delle tensioni:

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno: [cm]

Raggio interno: [cm]

N° barre uguali:

Diametro barre: [cm]

Copriferro (baric.): [cm]

N° barre: **Zoom**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	7,06	0	61
2	7,06	16	59
3	7,06	31	53
4	7,06	43	43
5	7,06	53	31
6	7,06	59	16

Tipo Sezione

☐ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☒ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

☐ DXF

Sollecitazioni

S.L.U. ☒ Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

☐ Centro ☒ Baricentro cls

☐ Coord.[cm]

xN

yN

Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

Materiali

B450C **C25/30**

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} N/mm²

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} N/mm²

τ_{c1} N/mm²

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_s ‰

d cm

x x/d

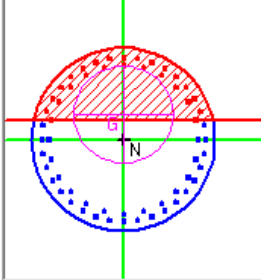
δ

Vertici:

Verifica

N° iterazioni:

☐ Precompresso



$$\sigma_{c,max} = 9,34 < 0,45 \times 25 = 11,25 \text{ Mpa}$$

Le tensioni risultano assolutamente contenute e quindi le verifiche risultano soddisfatte.

4.3 Verifiche geotecniche

I pali di fondazione collegati alla zattera di fondazione risultano sollecitati, oltre che a sforzo normale e a taglio, anche a momento flettente indotto dal taglio. Tali sollecitazioni sono diverse per i pali nelle varie posizioni, per cui la verifica viene ripetuta tutte le volte che è necessario.

Il taglio agente sul palo si ottiene ripartendo l'azione tagliente e torcente complessiva trasmessa al plinto, che si suppone a comportamento rigido. Circa il momento flettente, il calcolo viene effettuato con il metodo degli elementi finiti, utilizzando il modello di trave su suolo alla Winkler sottoposta ad una forza tagliente ad un estremo. Nel caso di tratto sveltante viene aggiunto un tratto di palo non contrastato dall'azione del terreno. Ai fini del calcolo il palo è suddiviso in tronchi per i quali la costante di Winkler varia con la profondità. In mancanza di dati espliciti forniti in input, la costante di Winkler viene ricavata con la seguente espressione (cfr. Bowles Fondazioni, pag.649):

$$K_w = 40 \cdot (c \cdot N_c + 0,5 \cdot g \cdot l \cdot N_g + g \cdot N_q \cdot z)$$

essendo:

c = coesione

g = peso specifico efficace

N_c, N_q, N_g = coefficienti di portanza

z = ascissa della profondità

La verifica dell'armatura del palo viene effettuata con un calcolo a presso-flessione, per tutte le combinazioni di carico previste e per tutti i pali.

4.3.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE

La portanza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo. E' data dalla somma della portata alla punta e la portata per attrito laterale. I calcoli sono eseguiti secondo le norme A.G.I. La formula di seguito riportata è un'estensione di quella classica in quanto tiene conto del fatto che il terreno può presentare strati con caratteristiche differenti. Gli angoli vanno espressi in radianti.

Nel caso di terreni coesivi ($\phi > 0$):

$$R_a = \pi \cdot D \cdot l \cdot \alpha \cdot c_m$$

$$R_b = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (9 \cdot c_b + \pi m \cdot l)$$

essendo (esprimendo c_m in Kg/cm²):

$a = 0,9$ per $c_m < 0,25$

$\alpha = 0,8$ per $0,25 < cm < 0,50$

$\alpha = 0,6$ per $0,50 < cm < 0,75$

$\alpha = 0,4$ per $0,75 < cm$

Nel caso di terreni incoerenti ($cm=0$):

$$Ra = \pi \cdot D \cdot \frac{l}{2} \cdot \sum \left[K \cdot \tau \cdot h^2 \cdot \tan \phi + 2 \cdot h \cdot \tan \phi \cdot \sum (\tau \cdot h) \right]$$

essendo:

$$K = \frac{1}{7} \cdot \frac{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}{1 - \tan(0,8 \cdot \phi) \cdot (1 - \sin \phi)}$$

con la prima sommatoria estesa a tutti gli strati e la seconda a tutti quelli soprastanti lo strato i-esimo.

$$Rb = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \alpha m \cdot l \cdot Nq$$

il termine Nq è funzione di f_b e del rapporto h / D , ricavato per interpolazione lineare in base alla seguente tabella (valida nel caso di D minore o uguale al diametro limite impostato nei dati generali, pari a 60 o 80 cm):

f_b	0	28	30	32	34	36	38	40		
Nq	0	12	17	25	40	58	89	137	per $h / D = 25$	
Nq	0	9	14	22	37	56	88	136	per $h / D = 50$	

o in base a quest'altra (per D maggiore del diametro limite):

f_b	0	25	30	35	40	
Nq	0	4,0	10,0	18,8	32,8	per $h / D = 4$
Nq	0	5,2	8,8	15,2	28,5	per $h / DS = 32$

In presenza di fenomeni di attrito negativo, al carico agente sul palo va aggiunto il seguente termine:

$$R_{neg} = p \cdot D \cdot \alpha m \cdot l \cdot \lambda_{ambe}$$

La simbologia usata nella formula precedente è la seguente:

D = diametro del palo
 L = lunghezza del palo
 H = spessore dello strato di terreno attraversato
 Ra = portanza per attrito laterale
 Rb = portanza alla base
 t = peso specifico del terreno del singolo strato
 tm = peso specifico in media pesata sugli strati
 f = angolo di attrito interno del terreno del singolo strato
 cb = coesione del terreno dello strato di base
 cm = coesione in media pesata sugli strati
 $Lambe$ = coefficiente di Lambe per il calcolo dell'attrito negativo

Tale formula si riferisce alla portata del singolo palo isolato; nel caso di pali ravvicinati, si considera un coefficiente riduttivo di gruppo, funzione dell'interasse tra i pali rapportato al diametro. Ai fini del calcolo del coefficiente di sicurezza alla portanza, al carico di esercizio agente sul palo si somma il peso proprio del palo stesso.

4.3.2 CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI DI FONDAZIONE

La resistenza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo. I calcoli sono eseguiti secondo la teoria di Broms. Gli angoli vanno espressi in radianti. In generale la pressione resistente lungo il fusto del palo viene calcolata in base alle due seguenti espressioni, valide per condizioni non drenate e drenate. La resistenza complessiva si ricava integrando tale pressione per la lunghezza del palo, tenendo così conto della presenza di diversi strati. Nei tabulati verrà riportato il valore minimo del carico limite tra condizioni drenata e non drenata. In condizioni non drenate si ha:

$$P_u = 9 * C_u * D$$

Il carico limite si ricava da tale valore della pressione limite, estesa per tutto lo sviluppo del palo con eccezione del tratto iniziale per una lunghezza di 1,5 diametri. In condizioni drenate invece si ha:

$$P = (3 * K_p * g * z + 9 * C) * D$$

Il carico limite si ricava da tale valore della pressione limite, estesa per tutto lo sviluppo del palo.

La simbologia usata è la seguente:

D = diametro del palo
 C_u = coesione non drenata
 C = coesione drenata
 Kp = costante di spinta passiva
 g = peso specifico del terreno
 z = profondità

Tali formule si riferiscono alla portata del singolo palo isolato; nel caso di pali ravvicinati, si considera un coefficiente riduttivo di gruppo, funzione dell'interasse tra i pali rapportato al diametro.

STRATIGRAFIA		Peso specifico γ (t/m ³)	Angolo d'attrito ϕ (°)	Coesione drenata c' (Kg/cm ²)	Coesione non drenata c_u (Kg/cm ²)
0,00 m	Riporto	1,70	15°	0,00	0,00
-0,60÷2,80 m	Depositi prevalentemente limosi	1,85	26°	0,05	0,70
-3,20÷7,00 m	Depositi prevalentemente ghiaiosi con lenti limo-sabbiose e limo-argillose	1,95	35°	0,00	0,00
-12,60÷14,60	Substrato: Formazione Plio-Pleistocenica inalterata	2,05	24°	0,40	3,00

SCARICHI SUI PLINTI								
SCARICHI IN FONDAZIONE								
Filo N.ro	Quota (m)	Condizione di Carico	N (Kg)	Mx Kgm	My (Kgm)	Tx (Kg)	Ty (Kg)	Mt (Kgm)
1	0,00	SLU	206954	802625	14295	48392	39434	0

VERIFICA PORTANZA PALI																	
VERIFICA PORTANZA PALI																	
IDENTIFICAT		CARICO LUNGO L'ASSE DEL PALO										CARICO ORTOGONALE ALL'ASSE					
Filo N.	Fi cm	Int cm	Cm 85	Q _{rup} t	Q _{lat} t	Coef Grup	Q _{lim} t	Q _{Eule} t	Q _{es} t	Coef Sic.	Cm or	Q _{ag} t	Coef Grup	Q _{lim} t	Q _{eso} t	Coef Sicu	STA TUS
1	150	0	1	115,0	218,1	1,00	289,7	999,9	287,8	1,0	1	1306,0	1,00	1004,8	62,4	16,1	OK

La verifica risulta soddisfatta