



PROVINCIA DI CHIETI

PROGETTO DEFINITIVO

ADEGUAMENTO DELLE S.S. 81-84
TRATTO GUARDIAGRELE-EST
INNESTO S.S. 652 "VAL DI SANGRO"

LOTTO I

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

Prof. Dott. Ing. Marco Petrangeli
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 18744

Dott. Ing. Giovanni Zallocco
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 5745

COORDINAMENTO ATTIVITA' IN LOCO:

Dott. Arch. Mariano Strizzi
Iscritto Albo Architetti Provincia di Chieti n° 97

PROGETTAZIONE:

mandataria

A.T.I.



Divisione Progettazione e Studi

mandanti



| EM./RE. | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | CONTR. | APPROV. |
|---------|--------------|-------------|---------|-------------|--------------|
| 0 | SETTEMBRE'03 | EMISSIONE | R.MELI | C.ANDREOCCI | M.PETRANGELI |
| | | | | | |
| | | | | | |

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotti

Viadotto S. Bartolomeo 1 - Sottostrutture e fondazioni

Relazione tecnica e di predimensionamento

SCALA : -

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO

D 1

DOC.

C L

OPERA/DISCIPLINA

V I O 3

PROGR.

0 0 1

REV.

A

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA..... | 5 |
| 2. NORMATIVE..... | 5 |
| 3. MATERIALI IMPIEGATI..... | 6 |
| 3.1. CARATTERISTICHE..... | 6 |
| 3.2. TENSIONI DI CALCOLO..... | 6 |
| 4. VERIFICA DELLE PILE..... | 7 |
| 4.1. SOLLECITAZIONI..... | 7 |
| 4.2. VERIFICHE..... | 10 |
| 4.2.1. Armature delle pile..... | 10 |
| 4.2.2. Stato limite ultimo..... | 11 |
| 4.2.3. Stato limite di esercizio..... | 11 |
| 4.2.4. Sezione 2 – Combinazione 1 (statica)..... | 12 |
| 4.2.5. Sezione 3a – Combinazione 4 (sismica)..... | 13 |
| 4.2.6. Sezione 3b – Combinazione 4 (sismica)..... | 14 |
| 5. VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE..... | 15 |
| 5.1. VERIFICA AI CARICHI ASSIALI..... | 15 |
| 5.1.1. Pila 1 (6 pali)..... | 16 |
| 5.1.2. Pila 2 (8 pali)..... | 17 |
| 5.1.3. Pila 3 (12 pali)..... | 18 |
| 5.1.4. Pila 4 (12 pali)..... | 19 |
| 5.1.5. Pila 5 (9 pali)..... | 20 |
| 5.1.6. Pila 6 (8 pali)..... | 21 |
| 5.1.7. Pila 7 (6 pali)..... | 22 |
| 5.2. VERIFICA CON IL "CAPACITY DESIGN"..... | 23 |
| 5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE (S.L.U.)..... | 24 |
| 5.3.1. Palo A ($\Phi = 1200$ mm)..... | 25 |
| 5.3.2. Palo B ($\Phi = 1200$ mm)..... | 26 |
| 5.3.3. Palo C ($\Phi = 1500$ mm)..... | 27 |
| 5.3.4. Palo D ($\Phi = 1500$ mm)..... | 28 |
| 6. VERIFICA DEI PLINTI..... | 29 |
| 6.1. VERIFICA A FLESSIONE (S.L.U.)..... | 29 |
| 6.2. VERIFICA A TAGLIO (S.L.U.)..... | 30 |
| 6.2.1. Plinto a 6 pali..... | 32 |
| 6.2.2. Plinto a 8 pali..... | 33 |
| 6.2.3. Plinto a 9 pali..... | 34 |
| 6.2.4. Plinto a 12 pali..... | 35 |
| 6.3. VERIFICA A PUNZONAMENTO (S.L.U.)..... | 37 |
| 6.3.1. Plinto a 6 pali..... | 37 |
| 6.3.2. Plinto a 8 pali..... | 37 |
| 6.3.3. Plinto a 9 pali..... | 37 |
| 6.3.4. Plinto a 12 pali..... | 37 |
| 7. LE SPALLE..... | 38 |
| 7.1. SPALLA A..... | 39 |
| 7.1.1. Analisi dei carichi..... | 41 |
| 7.1.2. Determinazione delle sollecitazioni e verifiche..... | 43 |
| 7.2. SPALLA B..... | 47 |
| 7.2.1. Analisi dei carichi..... | 48 |
| 7.2.2. Determinazione delle sollecitazioni e verifiche..... | 50 |
| 8. VERIFICHE GEOTECNICHE..... | 54 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| 8.1. | INQUADRAMENTO E SCHEMA GEOTECNICO | 54 |
| 8.2. | RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE | 55 |
| 8.3. | OPERE PROVVISORIALI | 56 |
| APPENDICE | | 57 |

1. Premessa

Nella presente relazione vengono riportati i calcoli e le verifiche relativi alle sottostrutture del viadotto San Bartolomeo 1, della Transcollinare Piceno-Aprutina.

Per quanto riguarda la determinazione delle azioni al piano degli appoggi si rimanda alla relazione dell'impalcato (D1-CL-VI00-001.doc) in cui è esplicitata l'analisi dei carichi e il modello di calcolo agli elementi finiti.

2. Normative

I calcoli sono stati eseguiti nel rispetto della seguente normativa italiana vigente:

- Legge 5-1-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica"
- DM 4 Maggio 1990: "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e il collaudo dei ponti stradali"
- D.M. del 9-1-1996 riguardante: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- D.M. del 16-1-1996 riguardante: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- Circolare del 4-7-1996 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M del 16-1-1996"
- Circolare del 15-10-1996 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. del 9-1-1996"
- Ordinanza n. 3274 del 8-5-2003 riguardante: "Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti"

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alla normativa Europea:

- UNI ENV 1998-2: Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Ponti

3. Materiali impiegati

3.1. Caratteristiche

- ÿ Calcestruzzo per le pile tipo Rck 40MPa
- ÿ Calcestruzzo per le spalle e le fondazioni tipo Rck 35MPa
- ÿ Calcestruzzo per i pali tipo Rck 25MPa
- ÿ Acciaio in barre FeB 44k

3.2. Tensioni di calcolo

- ÿ Calcestruzzo tipo Rck 40MPa
 - $f_{ck} = 33.20 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{cd} = 20.75 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{c,esercizio} = 19.92 \text{ N/mm}^2$ Stato limite

- ÿ Calcestruzzo tipo Rck 35MPa
 - $f_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{cd} = 18.16 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{c,esercizio} = 17.43 \text{ N/mm}^2$ Stato limite

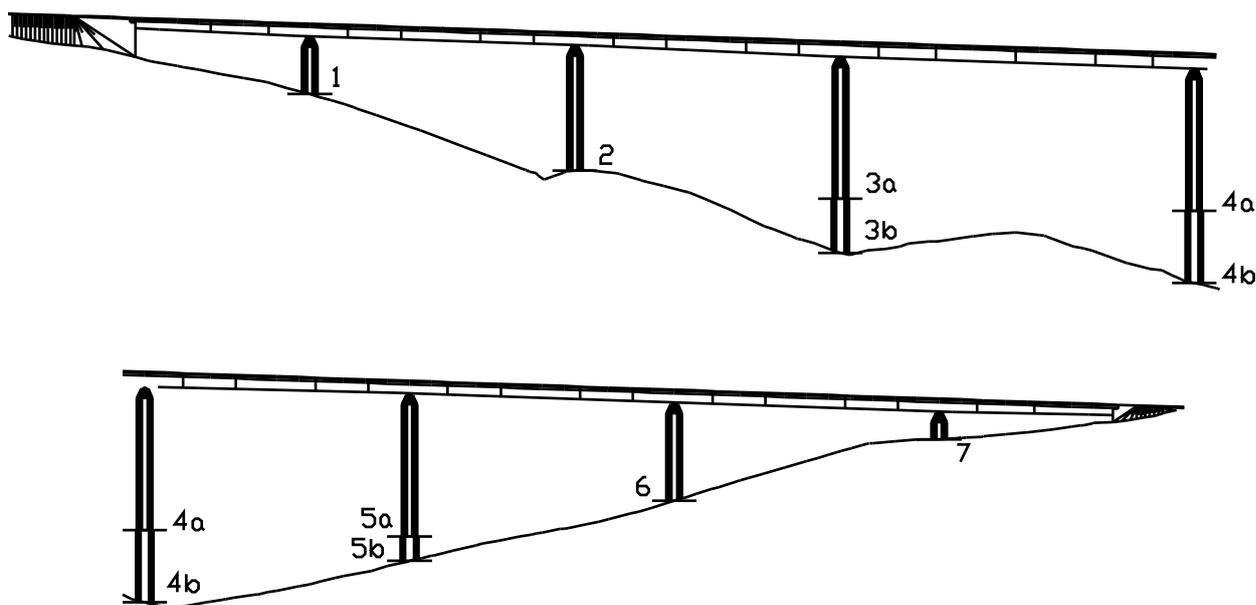
- ÿ Calcestruzzo tipo Rck 25MPa
 - $f_{ck} = 20.75 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{cd} = 12.97 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{c,esercizio} = 12.45 \text{ N/mm}^2$ Stato limite

- ÿ Acciaio in barre FeB 44k
 - $f_{yk} = 430 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{a,esercizio} = 301 \text{ N/mm}^2$ Stato limite
 - $\sigma_{amm} = 255 \text{ N/mm}^2$

4. Verifica delle pile

4.1. Sollecitazioni

Ai fini delle verifiche sono state considerate le seguenti sezioni di verifica:



Poiché le pile 3, 4 e 5 hanno due tipi di sezione differente lungo l'altezza, sono state ricavate le sollecitazioni e sono state effettuate le verifiche per entrambe le sezioni. Si è nel seguito indicata con "a" la sezione dove si ha il passaggio tra la sezione rignrossata e quella corrente e con "b" la sezione di spiccato.

La convenzione adottata per gli sforzi normali è quella di indicare col segno negativo le sollecitazioni di compressione. Per le tensioni vale invece la convenzione opposta per cui sono positive le tensioni di compressione e negative quelle di trazione, tanto nel calcestruzzo quanto nell'acciaio.

Sono state considerate le seguenti cinque combinazioni di carico per determinare le sollecitazioni alla base di ogni pila:

1 valori più sfavorevoli dovuti alla combinazione di:

- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Dilatazione/contrazione termica
- Gradiente termico (positivo)
- Attrito
- Vento

| Pila | Combinazione 1 | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|-------|
| | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| 1 | -9752 | 0 | 858 | 11183 | 5597 | -14628 | 0 | 1287 | 16774 | 8395 |
| 2 | -11219 | 0 | 1250 | 30268 | 12049 | -16828 | 0 | 1875 | 45402 | 18073 |
| 3a | -15873 | 370 | 1249 | 33461 | 12921 | -23810 | 555 | 1874 | 50192 | 19381 |
| 3b | -18020 | 370 | 1495 | 49508 | 17439 | -27029 | 555 | 2243 | 74261 | 26158 |
| 4a | -15716 | 281 | 1329 | 36104 | 9891 | -23574 | 421 | 1994 | 54156 | 14836 |
| 4b | -18784 | 281 | 1667 | 60034 | 14522 | -28176 | 421 | 2501 | 90050 | 21783 |
| 5a | -11159 | 0 | 1193 | 30030 | 15257 | -16739 | 0 | 1789 | 45045 | 22886 |
| 5b | -12029 | 0 | 1330 | 39398 | 15257 | -18044 | 0 | 1995 | 59098 | 22886 |
| 6 | -12723 | 0 | 1172 | 23239 | 11524 | -19084 | 0 | 1758 | 34858 | 17285 |
| 7 | -9861 | 0 | 845 | 6648 | 3689 | -14791 | 0 | 1267 | 9971 | 5533 |

2 valori più sfavorevoli dovuti alla combinazione di:

- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Dilatazione/contrazione termica
- Gradiente termico (positivo)
- Attrito
- Carichi mobili
- 60% Vento

| Pila | Combinazione 2 | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|-------|
| | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| 1 | -13746 | 16 | 518 | 14327 | 5597 | -20619 | 24 | 777 | 21490 | 8395 |
| 2 | -15574 | 133 | 749 | 26277 | 12049 | -23361 | 199 | 1123 | 39416 | 18073 |
| 3a | -21045 | 537 | 746 | 29484 | 12171 | -31567 | 806 | 1118 | 44225 | 18256 |
| 3b | -23191 | 553 | 893 | 39022 | 16427 | -34786 | 830 | 1340 | 58533 | 24640 |
| 4a | -20796 | 552 | 820 | 31638 | 9746 | -31194 | 828 | 1231 | 47458 | 14619 |
| 4b | -23864 | 480 | 1023 | 46292 | 14310 | -35795 | 720 | 1535 | 69438 | 21465 |
| 5a | -15590 | 238 | 739 | 26871 | 15257 | -23385 | 356 | 1108 | 40306 | 22886 |
| 5b | -16460 | 259 | 821 | 32584 | 15257 | -24690 | 389 | 1232 | 48876 | 22886 |
| 6 | -17284 | 239 | 718 | 22757 | 11524 | -25927 | 358 | 1078 | 34135 | 17285 |
| 7 | -13982 | 243 | 570 | 12431 | 3689 | -20973 | 365 | 854 | 18646 | 5533 |

3 valori più sfavorevoli dovuti alla combinazione di:

- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Dilatazione/contrazione termica
- Gradiente termico (positivo)
- Attrito
- Carichi mobili
- Frenatura
- 20% Vento

| Pila | Combinazione 3 | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|-----|-------|-------|--------|-----|-----|-------|-------|
| | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| 1 | -13746 | 0 | 177 | 9908 | 5597 | -20619 | 0 | 266 | 14862 | 8395 |
| 2 | -15574 | 0 | 246 | 14042 | 12049 | -23361 | 0 | 368 | 21064 | 18073 |
| 3a | -21045 | 510 | 240 | 15729 | 17816 | -31567 | 764 | 361 | 23593 | 26724 |
| 3b | -23191 | 510 | 290 | 18754 | 24046 | -34786 | 764 | 434 | 28132 | 36069 |
| 4a | -20796 | 431 | 309 | 17697 | 15154 | -31194 | 646 | 464 | 26546 | 22731 |
| 4b | -23864 | 431 | 377 | 23154 | 22250 | -35795 | 646 | 565 | 34731 | 33375 |
| 5a | -15590 | 0 | 281 | 15434 | 15257 | -23385 | 0 | 421 | 23151 | 22886 |
| 5b | -16460 | 0 | 308 | 17524 | 15257 | -24690 | 0 | 462 | 26285 | 22886 |
| 6 | -17284 | 0 | 285 | 14225 | 11524 | -25927 | 0 | 427 | 21337 | 17285 |
| 7 | -13982 | 0 | 330 | 10645 | 3689 | -20973 | 0 | 495 | 15967 | 5533 |

4 valori più sfavorevoli dovuti alla combinazione di:

- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Dilatazione/contrazione termica
- Gradiente termico (positivo)
- Sisma lungo l'asse x
- Sisma lungo l'asse z

| Pila | Sisma asse x | | | | | | | | | |
|------|--------------|------|-----|-------|---------|--------|------|-----|-------|---------|
| | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| 1 | -10672 | 0 | 44 | -611 | 0 | -16052 | 0 | 56 | -757 | 0 |
| 2 | -11841 | 0 | 78 | -2441 | -1 | -17864 | 0 | 99 | -3117 | -1 |
| 3a | -16401 | 2228 | 72 | -3132 | -76998 | -24706 | 2793 | 90 | -4116 | -96494 |
| 3b | -17586 | 2234 | 72 | -3997 | -104342 | -25986 | 2799 | 91 | -5198 | -130763 |
| 4a | -16157 | 1843 | 107 | -4489 | -63310 | -24340 | 2310 | 136 | -5908 | -79326 |
| 4b | -18099 | 1854 | 108 | -6039 | -93635 | -26587 | 2323 | 137 | -7822 | -117322 |
| 5a | -11855 | 0 | 133 | -4529 | 0 | -17887 | 0 | 169 | -5840 | 0 |
| 5b | -11993 | 0 | 133 | -5607 | 0 | -17830 | 0 | 169 | -7205 | 0 |
| 6 | -2249 | 0 | 129 | -3869 | 0 | -5672 | 0 | 163 | -5061 | 0 |
| 7 | -1854 | 0 | 17 | -639 | 0 | -4676 | 0 | 22 | -930 | 0 |

5 valori più sfavorevoli dovuti alla combinazione di:

- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Dilatazione/contrazione termica
- Gradiente termico (positivo)
- Sisma lungo l'asse y
- Sisma lungo l'asse z

| Pila | Sisma asse y | | | | | | | | | |
|------|--------------|-----|-----|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| 1 | -10672 | 0 | 238 | -3562 | 0 | -16052 | 0 | 298 | -4455 | 0 |
| 2 | -11841 | 0 | 716 | -21433 | -3 | -17864 | 0 | 898 | -26916 | -4 |
| 3a | -16401 | 256 | 700 | -24127 | -8829 | -24706 | 321 | 877 | -30426 | -11070 |
| 3b | -17586 | 256 | 705 | -32719 | -11967 | -25986 | 321 | 883 | -41190 | -15005 |
| 4a | -16157 | 212 | 777 | -26502 | -7195 | -24340 | 265 | 975 | -33493 | -9007 |
| 4b | -18099 | 213 | 790 | -39179 | -10642 | -26587 | 267 | 992 | -49351 | -13322 |
| 5a | -11855 | 0 | 634 | -19528 | -2 | -17887 | 0 | 796 | -24635 | -2 |
| 5b | -11993 | 0 | 634 | -24656 | -2 | -17830 | 0 | 796 | -31077 | -3 |
| 6 | -2249 | 0 | 543 | -13760 | -2 | -5672 | 0 | 681 | -17456 | -2 |
| 7 | -1854 | 0 | 77 | -1147 | 0 | -4676 | 0 | 97 | -1566 | 0 |

4.2. Verifiche

Note le sollecitazioni sulle sezioni, queste ultime vengono verificate allo stato limite ultimo (SLU) ed allo stato limite di esercizio (SLE).

4.2.1. Armature delle pile

Ai fini delle verifiche sono state considerate per le sezioni di verifica le seguenti armature:

| | ARMATURA | |
|----|--------------------------|-----------------|
| | esterna | interna |
| 1 | Φ26/20 | Φ26/30 |
| 2 | Φ26/20 | Φ26/30 |
| 3a | Φ26/10 + Φ26/10 | Φ26/10 + Φ26/10 |
| 3b | Φ26/10 + Φ26/10 + Φ26/10 | Φ26/10 + Φ26/10 |
| 4a | Φ26/10 + Φ26/10 | Φ26/10 + Φ26/10 |
| 4b | Φ26/10 + Φ26/10 + Φ26/10 | Φ26/10 + Φ26/10 |
| 5a | Φ26/20 | Φ26/15 |
| 5b | Φ26/20 | Φ26/30 |
| 6 | Φ26/20 | Φ26/30 |
| 7 | Φ26/30 | — |

4.2.2. Stato limite ultimo

Le sezioni risultano verificate, con i seguenti coefficienti di sicurezza:

| | | Pile | | | | | | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3a | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b | 6 | 7 |
| Combinazioni | 1 | 3.67 | 1.33 | 2.35 | 2.86 | 2.42 | 2.63 | 1.42 | 1.58 | 1.81 | 9.08 |
| | 2 | 2.75 | 1.65 | 2.34 | 3.22 | 2.43 | 3.11 | 1.69 | 2.72 | 1.78 | 5.20 |
| | 3 | 3.32 | 2.52 | 1.91 | 2.55 | 2.17 | 2.74 | 2.48 | 4.52 | 2.24 | 5.57 |
| | 4 | 6.10 | 5.07 | 1.41 | 1.73 | 1.70 | 1.95 | 4.63 | 8.58 | 10.70 | 41.14 |
| | 5 | 5.29 | 2.43 | 3.49 | 4.87 | 3.38 | 4.38 | 2.60 | 4.24 | 3.38 | 37.40 |

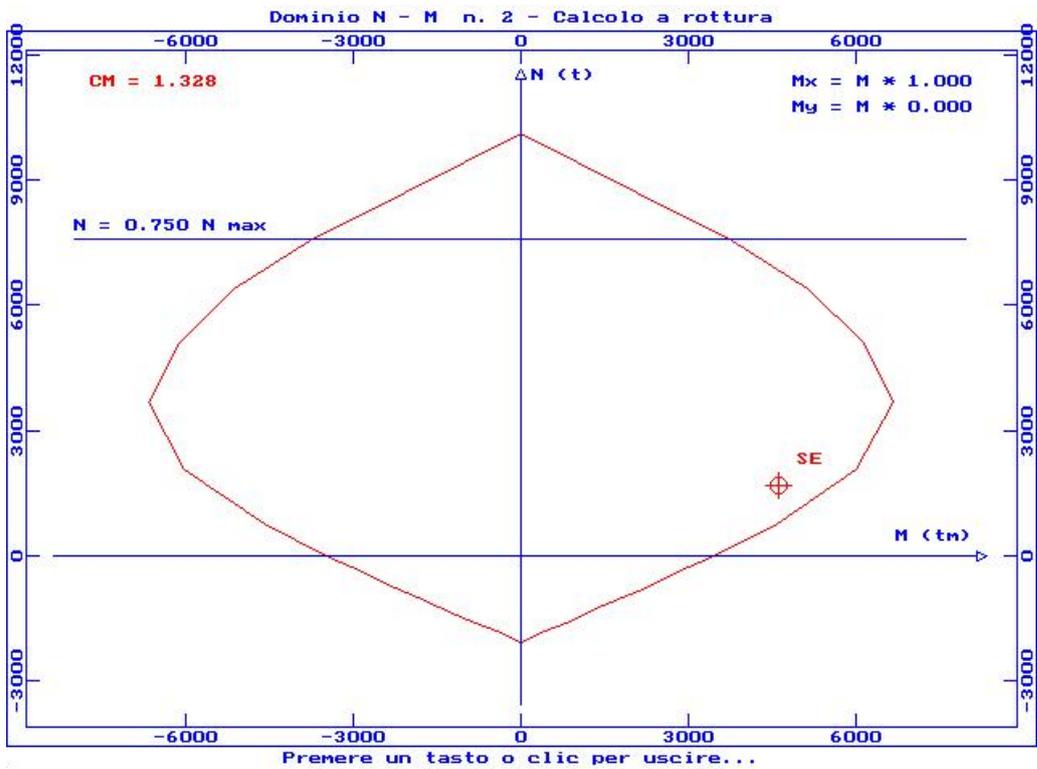
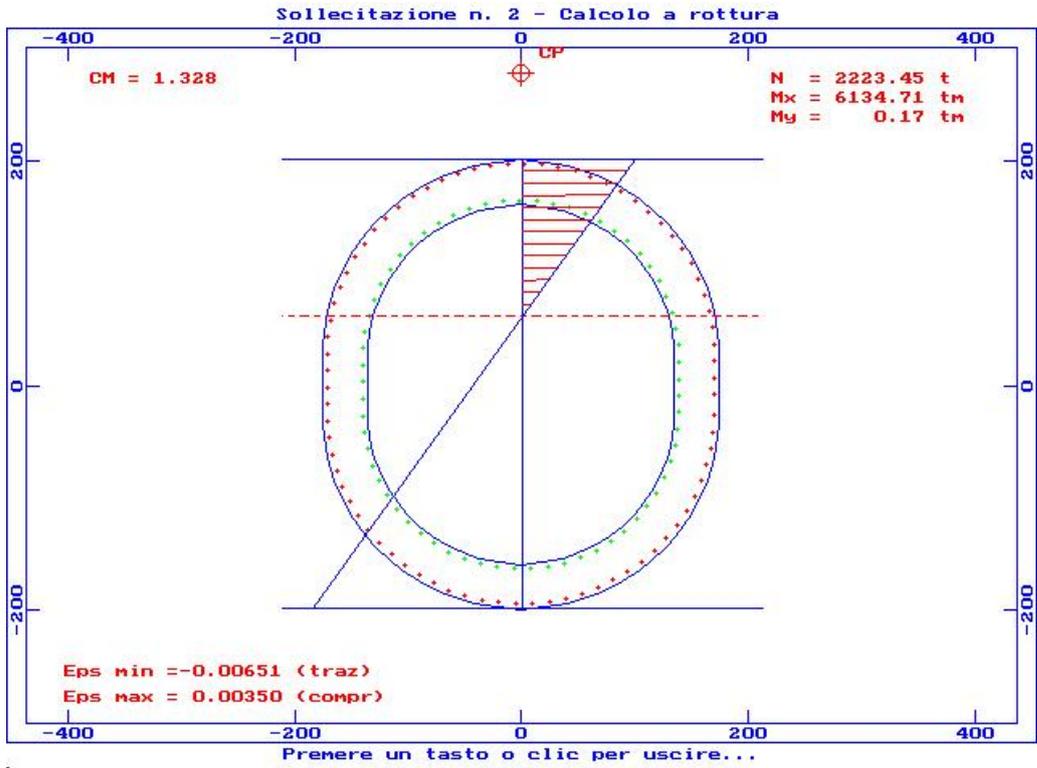
4.2.3. Stato limite di esercizio

Nella seguente tabella sono riportate, per ogni sezione e per ogni combinazione di carico, le tensioni di esercizio nel calcestruzzo e nell'acciaio:

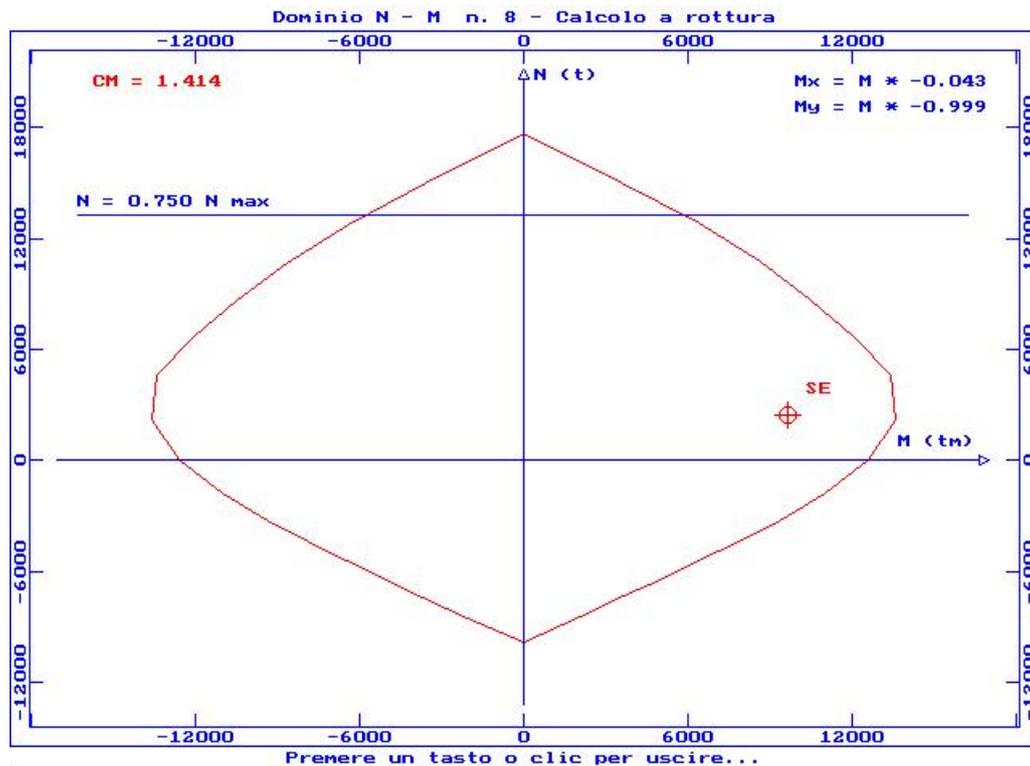
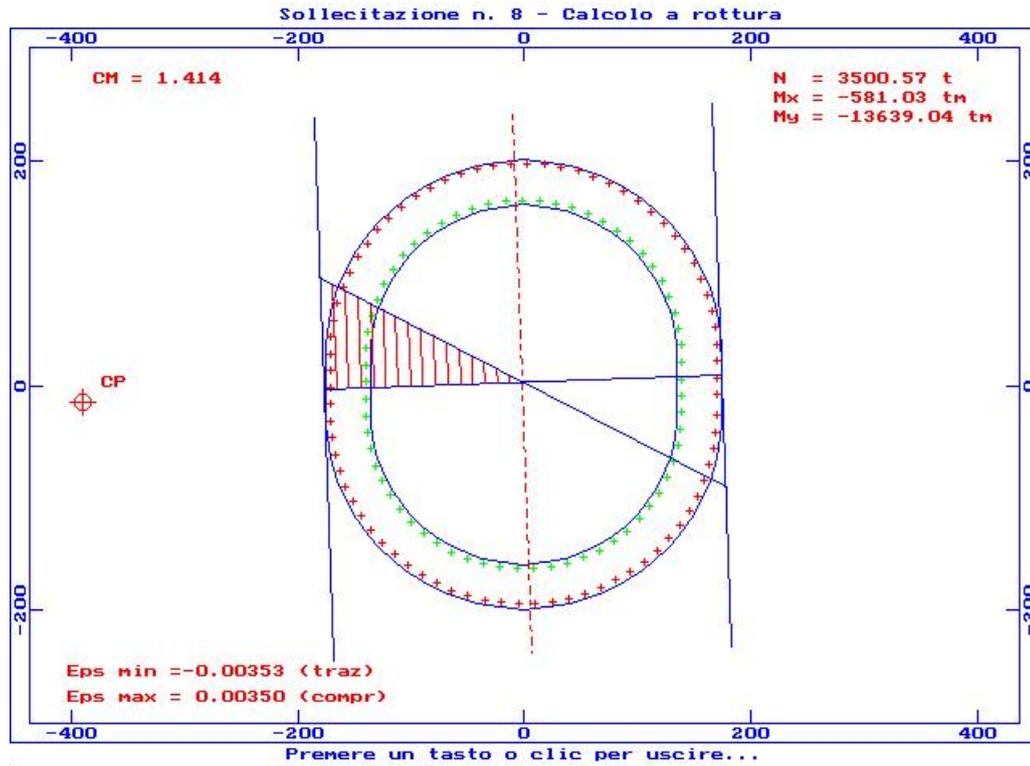
| | | Pile | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3a | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b | 6 | 7 | |
| Combinazioni | 1 | cls | 48 | 133 | 92 | 78 | 90 | 84 | 126 | 90 | 105 | 20 |
| | | acciaio | -209 | -2956 | -1038 | -1124 | -985 | -1262 | -2690 | -2894 | -1521 | -45 |
| | 2 | cls | 63 | 115 | 89 | 67 | 86 | 70 | 112 | 67 | 102 | 35 |
| | | acciaio | -165 | -1413 | -650 | -635 | -584 | -675 | -1305 | -1093 | -725 | -207 |
| | 3 | cls | 51 | 68 | 113 | 87 | 98 | 81 | 69 | 37 | 76 | 33 |
| | | acciaio | 43 | -83 | -1174 | -1121 | -853 | -927 | -107 | -42 | -97 | -149 |
| | 4 | cls | 23 | 30 | 175 | 132 | 147 | 121 | 35 | 19 | 17 | 3 |
| | | acciaio | 297 | 265 | -2978 | -2763 | -2335 | -2414 | 190 | 92 | -202 | 8 |
| | 5 | cls | 30 | 92 | 66 | 50 | 69 | 57 | 83 | 53 | 59 | 4 |
| | | acciaio | 190 | -1227 | -442 | -469 | -521 | -613 | -928 | -970 | -1965 | -5 |

Vengono di seguito riportati i domini di rottura M-N delle sezioni più significative.

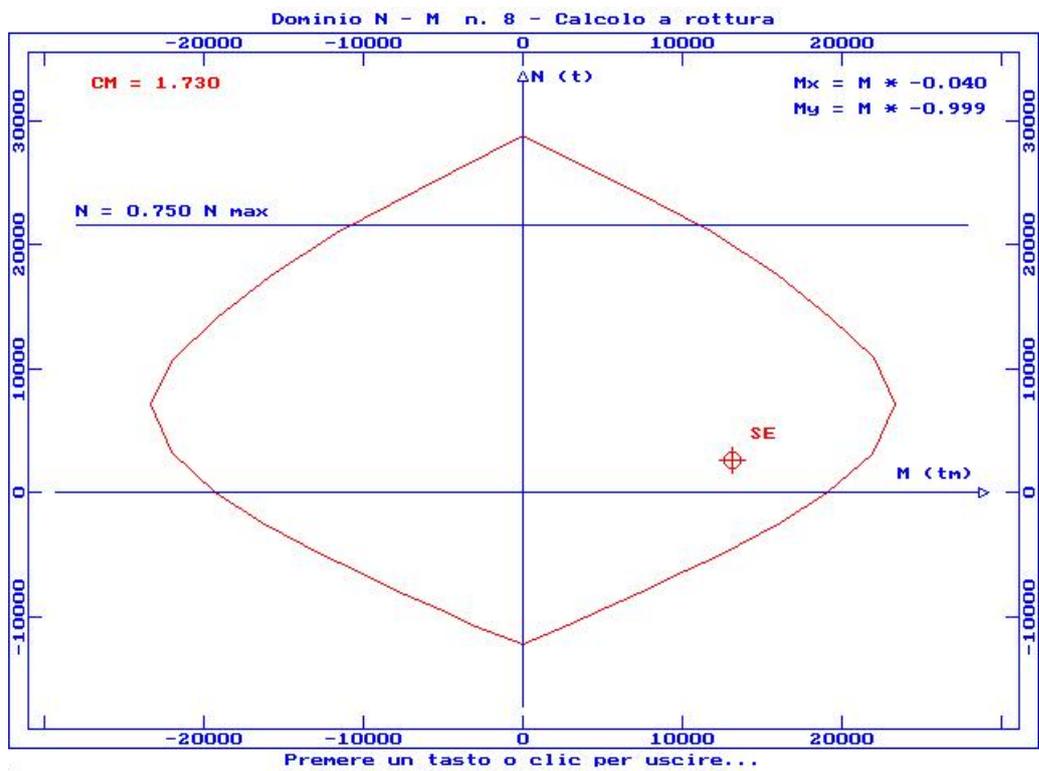
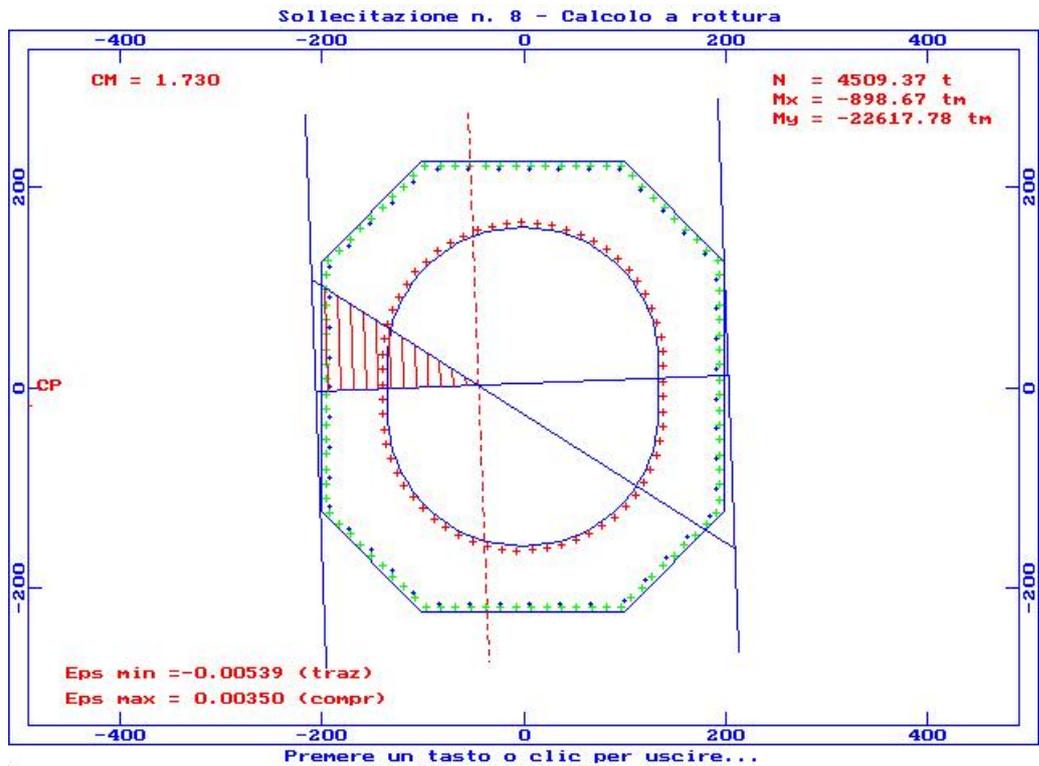
4.2.4. Sezione 2 - Combinazione 1 (statica)



4.2.5. Sezione 3a – Combinazione 4 (sismica)



4.2.6. Sezione 3b - Combinazione 4 (sismica)



5. Verifica dei pali di fondazione

5.1. Verifica ai carichi assiali

Si determinano i carichi assiali massimi sui pali come segue.

Si ricavano gli sforzi assiali, negativi se di compressione, su ogni palo:

$$N_{palo} = \frac{N}{n} + \frac{M_2}{W_{xi}} + \frac{M_3}{W_{yi}}$$

dove: **N** è il carico verticale sulla fondazione

M_2 e M_3 sono i momenti trasmessi alla fondazione

n è il numero dei pali

$$W_{xi} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{x_i}$$

$$W_{yi} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{y_i}$$

x_i e y_i sono le coordinate del palo i -esimo rispetto al baricentro della palificata.

Dopo questo primo passo, si ricavano i momenti d'incastro ΔM_x e ΔM_y , in quanto i pali sono impediti di ruotare in testa per la presenza del plinto, assunto indeformabile. Questi momenti vengono ricavati ipotizzando il palo quale trave in suolo elastico, nel modo seguente:

$$\Delta M_x = \frac{V_2 L_0}{2} \quad \text{e} \quad \Delta M_y = \frac{V_3 L_0}{2}$$

dove: V_2 e V_3 sono i tagli trasmessi alla fondazione

$$L_0 = \sqrt[4]{4 \frac{EI}{KB}} \quad \text{è la lunghezza elastica del palo}$$

EI è la rigidezza flessionale del palo

$K = 15000 \text{ kN/m}^3$ è la costante di sottofondo del terreno

$B = 1.5\Phi_{palo}$ è la larghezza della zona interessata dal palo nel suo spostamento.

Si esegue un ulteriore passo, sommando agli sforzi assiali, precedentemente determinati, il contributo dovuto a tali momenti:

$$N_{tot, palo} = N_{palo} + \frac{\Delta M_y}{W_{xi}} + \frac{\Delta M_x}{W_{yi}}$$

Il taglio su ogni palo è il taglio complessivo diviso per il numero dei pali.

I valori delle sollecitazioni sono espressi in kN, per gli sforzi assiali e di taglio, e kNxm, per i momenti.

5.1.1. Pila 1 (6 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|----|-----|-------|------|--------|----|------|-------|------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -13712 | 0 | 858 | 12728 | 5597 | -18588 | 0 | 1287 | 19091 | 8395 |
| | 2 | -17706 | 16 | 518 | 15259 | 5626 | -24579 | 24 | 777 | 22889 | 8439 |
| | 3 | -17706 | 0 | 177 | 10227 | 5597 | -24579 | 0 | 266 | 15340 | 8395 |
| | 4 | -15329 | 0 | 44 | 690 | 0 | -21235 | 0 | 56 | 857 | 0 |
| | 5 | -15329 | 0 | 238 | 3990 | 0 | -21235 | 0 | 298 | 4993 | 0 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1884 | -2407 | -2692 | -2516 | -2328 | -2496 | -3281 | -3707 | -3491 | -3256 |
| | 2 | -1241 | -1761 | -2048 | -2516 | -2328 | -1531 | -2311 | -2742 | -3491 | -3256 |
| | 3 | -2607 | -3274 | -3273 | -2555 | -2555 | -3580 | -4581 | -4579 | -3539 | -3539 |
| | 4 | -1964 | -2628 | -2629 | -2555 | -2555 | -2616 | -3611 | -3614 | -3539 | -3539 |
| | 5 | -3330 | -4141 | -3854 | -2594 | -2782 | -4665 | -5882 | -5450 | -3588 | -3823 |
| | 6 | -2687 | -3495 | -3210 | -2594 | -2782 | -3700 | -4912 | -4486 | -3588 | -3823 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------------|--|------------------------|-----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ΔM_x | | 229 | 138 | 47 | 12 | 63 | 343 | 207 | 71 | 15 | 80 |
| ΔM_y | | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| ΔM | | 229 | 138 | 47 | 12 | 63 | 343 | 207 | 71 | 15 | 80 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1871 | -2400 | -2689 | -2515 | -2325 | -2476 | -3270 | -3703 | -3490 | -3251 |
| | 2 | -1228 | -1753 | -2046 | -2515 | -2325 | -1511 | -2299 | -2738 | -3490 | -3251 |
| | 3 | -2607 | -3275 | -3273 | -2555 | -2555 | -3580 | -4582 | -4579 | -3539 | -3539 |
| | 4 | -1964 | -2627 | -2629 | -2555 | -2555 | -2616 | -3611 | -3614 | -3539 | -3539 |
| | 5 | -3343 | -4149 | -3856 | -2595 | -2785 | -4685 | -5894 | -5455 | -3589 | -3827 |
| | 6 | -2700 | -3502 | -3213 | -2595 | -2785 | -3720 | -4923 | -4490 | -3589 | -3827 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|---|----|-----|-----|----|---|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 143 | 86 | 30 | 7 | 40 | 215 | 130 | 44 | 9 | 50 |

5.1.2. Pila 2 (8 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|-----|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -15656 | 0 | 1250 | 32518 | 12049 | -21265 | 0 | 1875 | 48777 | 18073 |
| | 2 | -20011 | 133 | 749 | 27625 | 12288 | -27798 | 199 | 1123 | 41437 | 18432 |
| | 3 | -20011 | 0 | 246 | 14485 | 12049 | -27798 | 0 | 368 | 21727 | 18073 |
| | 4 | -17058 | 0 | 78 | 2582 | 1 | -23082 | 0 | 99 | 3295 | 1 |
| | 5 | -17058 | 0 | 716 | 22722 | 4 | -23082 | 0 | 898 | 28533 | 5 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1112 | -1888 | -2463 | -2017 | -1117 | -1391 | -2554 | -3417 | -2738 | -1610 |
| | 2 | -1060 | -1740 | -2102 | -2061 | -1506 | -1313 | -2332 | -2876 | -2794 | -2099 |
| | 3 | 105 | -646 | -1246 | -2017 | -1117 | 434 | -692 | -1591 | -2738 | -1610 |
| | 4 | -2566 | -3122 | -3110 | -2132 | -2132 | -3571 | -4406 | -4388 | -2885 | -2885 |
| | 5 | -1348 | -1881 | -1893 | -2132 | -2132 | -1745 | -2544 | -2562 | -2885 | -2885 |
| | 6 | -4019 | -4356 | -3757 | -2248 | -3148 | -5751 | -6257 | -5358 | -3033 | -4160 |
| | 7 | -2854 | -3263 | -2901 | -2203 | -2759 | -4003 | -4617 | -4074 | -2976 | -3672 |
| | 8 | -2802 | -3115 | -2540 | -2248 | -3147 | -3925 | -4395 | -3533 | -3032 | -4160 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | ΔM_x | 250 | 150 | 49 | 16 | 143 | 375 | 225 | 74 | 20 | 180 |
| | ΔM_y | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| | ΔM | 250 | 152 | 49 | 16 | 143 | 375 | 228 | 74 | 20 | 180 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1101 | -1876 | -2460 | -2016 | -1111 | -1375 | -2546 | -3413 | -2737 | -1602 |
| | 2 | -1054 | -1736 | -2101 | -2061 | -1502 | -1303 | -2326 | -2874 | -2794 | -2094 |
| | 3 | 116 | -638 | -1243 | -2016 | -1110 | 451 | -680 | -1588 | -2737 | -1602 |
| | 4 | -2566 | -3123 | -3110 | -2132 | -2132 | -3571 | -4408 | -4388 | -2885 | -2885 |
| | 5 | -1348 | -1879 | -1893 | -2132 | -2132 | -1745 | -2542 | -2562 | -2885 | -2885 |
| | 6 | -4030 | -4364 | -3759 | -2248 | -3154 | -5767 | -6269 | -5362 | -3033 | -4169 |
| | 7 | -2860 | -3267 | -2902 | -2204 | -2763 | -4013 | -4623 | -4076 | -2977 | -3677 |
| | 8 | -2813 | -3121 | -2542 | -2248 | -3154 | -3942 | -4404 | -3536 | -3033 | -4168 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 156 | 95 | 31 | 10 | 90 | 234 | 143 | 46 | 12 | 112 |

5.1.3. Pila 3 (12 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|------|------|-------|--------|--------|------|------|-------|--------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -29520 | 370 | 1495 | 53245 | 18363 | -38529 | 555 | 2243 | 79868 | 27545 |
| | 2 | -34691 | 553 | 893 | 41255 | 17810 | -46286 | 830 | 1340 | 61883 | 26715 |
| | 3 | -34691 | 510 | 290 | 19478 | 25320 | -46286 | 764 | 434 | 29217 | 37980 |
| | 4 | -31110 | 2234 | 72 | 4178 | 109926 | -39510 | 2799 | 91 | 5425 | 137761 |
| | 5 | -31110 | 256 | 705 | 34480 | 12608 | -39510 | 321 | 883 | 43398 | 15808 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1787 | -2469 | -3161 | -5553 | -2177 | -2201 | -3224 | -4263 | -6999 | -2767 |
| | 2 | -1277 | -1974 | -2458 | -2500 | -1826 | -1436 | -2482 | -3208 | -3172 | -2328 |
| | 3 | -767 | -1479 | -1755 | 554 | -1476 | -671 | -1740 | -2153 | 655 | -1889 |
| | 4 | -2576 | -3080 | -3450 | -5615 | -2687 | -3384 | -4141 | -4696 | -7079 | -3410 |
| | 5 | -2066 | -2585 | -2747 | -2562 | -2337 | -2619 | -3399 | -3641 | -3252 | -2971 |
| | 6 | -1555 | -2091 | -2043 | 492 | -1987 | -1854 | -2657 | -2586 | 574 | -2532 |
| | 7 | -3364 | -3691 | -3739 | -5677 | -3198 | -4568 | -5058 | -5129 | -7159 | -4053 |
| | 8 | -2854 | -3197 | -3035 | -2623 | -2848 | -3802 | -4316 | -4074 | -3333 | -3614 |
| | 9 | -2344 | -2702 | -2332 | 430 | -2498 | -3037 | -3574 | -3019 | 494 | -3175 |
| | 10 | -4153 | -4302 | -4027 | -5739 | -3709 | -5751 | -5974 | -5561 | -7240 | -4696 |
| | 11 | -3643 | -3808 | -3324 | -2685 | -3359 | -4986 | -5232 | -4506 | -3413 | -4257 |
| | 12 | -3133 | -3313 | -2620 | 368 | -3009 | -4220 | -4490 | -3451 | 414 | -3818 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------------|-----|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ΔM_x | 229 | 137 | 44 | 11 | 108 | 343 | 205 | 66 | 14 | 135 | |
| ΔM_y | 57 | 85 | 78 | 342 | 39 | 85 | 127 | 117 | 428 | 49 | |
| ΔM | 236 | 161 | 90 | 342 | 115 | 353 | 241 | 134 | 428 | 144 | |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1783 | -2468 | -3163 | -5562 | -2175 | -2198 | -3223 | -4264 | -7008 | -2766 |
| | 2 | -1272 | -1971 | -2457 | -2499 | -1824 | -1431 | -2479 | -3207 | -3172 | -2326 |
| | 3 | -760 | -1474 | -1752 | 564 | -1473 | -664 | -1735 | -2150 | 664 | -1886 |
| | 4 | -2576 | -3081 | -3452 | -5624 | -2688 | -3384 | -4142 | -4698 | -7088 | -3410 |
| | 5 | -2064 | -2584 | -2746 | -2561 | -2336 | -2617 | -3398 | -3640 | -3252 | -2970 |
| | 6 | -1552 | -2087 | -2041 | 502 | -1985 | -1851 | -2653 | -2583 | 584 | -2530 |
| | 7 | -3368 | -3695 | -3741 | -5687 | -3200 | -4571 | -5061 | -5131 | -7169 | -4055 |
| | 8 | -2856 | -3198 | -3036 | -2624 | -2849 | -3804 | -4317 | -4074 | -3333 | -3615 |
| | 9 | -2344 | -2700 | -2330 | 439 | -2497 | -3037 | -3572 | -3017 | 503 | -3175 |
| | 10 | -4160 | -4308 | -4030 | -5749 | -3712 | -5757 | -5980 | -5565 | -7250 | -4700 |
| | 11 | -3648 | -3811 | -3325 | -2686 | -3361 | -4991 | -5235 | -4507 | -3413 | -4259 |
| | 12 | -3137 | -3314 | -2619 | 377 | -3010 | -4224 | -4491 | -3450 | 423 | -3819 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 128 | 88 | 49 | 186 | 62 | 193 | 131 | 73 | 233 | 78 |

5.1.4. Pila 4 (12 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|------|------|-------|-------|--------|------|------|-------|--------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -30284 | 281 | 1667 | 64202 | 15224 | -39676 | 421 | 2501 | 96303 | 22836 |
| | 2 | -35364 | 480 | 1023 | 48850 | 15510 | -47295 | 720 | 1535 | 73275 | 23265 |
| | 3 | -35364 | 431 | 377 | 24096 | 23327 | -47295 | 646 | 565 | 36144 | 34990 |
| | 4 | -31623 | 1854 | 108 | 6309 | 98270 | -40111 | 2323 | 137 | 8165 | 123131 |
| | 5 | -31623 | 213 | 790 | 41154 | 11174 | -40111 | 267 | 992 | 51831 | 13989 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1520 | -2292 | -3059 | -5225 | -2031 | -1801 | -2959 | -4110 | -6581 | -2579 |
| | 2 | -1097 | -1861 | -2411 | -2495 | -1721 | -1166 | -2313 | -3138 | -3161 | -2191 |
| | 3 | -674 | -1431 | -1764 | 235 | -1410 | -532 | -1667 | -2166 | 259 | -1802 |
| | 4 | -2471 | -3016 | -3416 | -5318 | -2641 | -3227 | -4045 | -4645 | -6702 | -3347 |
| | 5 | -2048 | -2585 | -2768 | -2589 | -2330 | -2593 | -3399 | -3674 | -3282 | -2959 |
| | 6 | -1625 | -2154 | -2121 | 141 | -2020 | -1959 | -2752 | -2702 | 138 | -2570 |
| | 7 | -3422 | -3740 | -3773 | -5412 | -3251 | -4654 | -5130 | -5181 | -6823 | -4115 |
| | 8 | -2999 | -3309 | -3125 | -2682 | -2940 | -4020 | -4484 | -4209 | -3403 | -3727 |
| | 9 | -2576 | -2878 | -2477 | 48 | -2630 | -3385 | -3838 | -3237 | 17 | -3338 |
| | 10 | -4373 | -4463 | -4130 | -5505 | -3860 | -6081 | -6216 | -5716 | -6944 | -4883 |
| | 11 | -3950 | -4033 | -3482 | -2775 | -3550 | -5446 | -5570 | -4744 | -3524 | -4494 |
| | 12 | -3527 | -3602 | -2834 | -46 | -3239 | -4812 | -4923 | -3773 | -104 | -4106 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------------|-----|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ΔM_x | 255 | 156 | 58 | 17 | 121 | 382 | 235 | 86 | 21 | 152 | |
| ΔM_y | 43 | 73 | 66 | 284 | 33 | 64 | 110 | 99 | 355 | 41 | |
| ΔM | 259 | 173 | 88 | 284 | 125 | 388 | 259 | 131 | 356 | 157 | |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1515 | -2291 | -3060 | -5232 | -2029 | -1796 | -2958 | -4111 | -6589 | -2578 |
| | 2 | -1091 | -1858 | -2410 | -2495 | -1718 | -1161 | -2309 | -3137 | -3161 | -2188 |
| | 3 | -667 | -1425 | -1760 | 243 | -1407 | -525 | -1661 | -2163 | 267 | -1799 |
| | 4 | -2470 | -3017 | -3418 | -5326 | -2641 | -3227 | -4046 | -4647 | -6710 | -3347 |
| | 5 | -2046 | -2584 | -2768 | -2588 | -2330 | -2591 | -3397 | -3673 | -3282 | -2958 |
| | 6 | -1622 | -2151 | -2118 | 149 | -2018 | -1956 | -2749 | -2699 | 146 | -2568 |
| | 7 | -3425 | -3743 | -3776 | -5420 | -3252 | -4657 | -5134 | -5183 | -6831 | -4117 |
| | 8 | -3001 | -3310 | -3126 | -2682 | -2941 | -4022 | -4485 | -4209 | -3403 | -3727 |
| | 9 | -2577 | -2877 | -2476 | 55 | -2630 | -3386 | -3837 | -3236 | 25 | -3338 |
| | 10 | -4380 | -4469 | -4134 | -5513 | -3864 | -6088 | -6221 | -5720 | -6953 | -4887 |
| | 11 | -3956 | -4036 | -3484 | -2776 | -3552 | -5452 | -5573 | -4746 | -3524 | -4497 |
| | 12 | -3532 | -3603 | -2834 | -38 | -3241 | -4817 | -4925 | -3772 | -96 | -4108 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 141 | 94 | 48 | 155 | 68 | 211 | 141 | 72 | 194 | 86 |

5.1.5. Pila 5 (9 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|-----|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -18872 | 0 | 1330 | 41793 | 15257 | -24886 | 0 | 1995 | 62690 | 22886 |
| | 2 | -23302 | 259 | 821 | 34062 | 15724 | -31532 | 389 | 1232 | 51093 | 23586 |
| | 3 | -23302 | 0 | 308 | 18078 | 15257 | -31532 | 0 | 462 | 27118 | 22886 |
| | 4 | -20039 | 0 | 133 | 5846 | 0 | -25877 | 0 | 169 | 7508 | 1 |
| | 5 | -20039 | 0 | 634 | 25797 | 2 | -25877 | 0 | 796 | 32509 | 3 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1180 | -1964 | -2513 | -2019 | -1312 | -1390 | -2565 | -3390 | -2609 | -1722 |
| | 2 | -615 | -1381 | -1948 | -2019 | -1312 | -542 | -1692 | -2542 | -2609 | -1722 |
| | 3 | -50 | -799 | -1383 | -2019 | -1312 | 306 | -818 | -1694 | -2609 | -1722 |
| | 4 | -2662 | -3172 | -3154 | -2227 | -2227 | -3613 | -4377 | -4351 | -2875 | -2875 |
| | 5 | -2097 | -2589 | -2589 | -2227 | -2227 | -2765 | -3504 | -3504 | -2875 | -2875 |
| | 6 | -1532 | -2007 | -2024 | -2227 | -2227 | -1917 | -2630 | -2656 | -2875 | -2875 |
| | 7 | -4144 | -4379 | -3795 | -2434 | -3141 | -5836 | -6189 | -5313 | -3141 | -4028 |
| | 8 | -3579 | -3797 | -3230 | -2434 | -3141 | -4988 | -5315 | -4465 | -3141 | -4028 |
| | 9 | -3014 | -3215 | -2665 | -2434 | -3141 | -4141 | -4442 | -3618 | -3141 | -4028 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | ΔM_x | 271 | 167 | 63 | 27 | 129 | 407 | 251 | 94 | 34 | 162 |
| | ΔM_y | 0 | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 79 | 0 | 0 | 0 |
| | ΔM | 271 | 176 | 63 | 27 | 129 | 407 | 263 | 94 | 34 | 162 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1170 | -1954 | -2511 | -2018 | -1307 | -1375 | -2559 | -3386 | -2608 | -1717 |
| | 2 | -605 | -1375 | -1946 | -2018 | -1307 | -528 | -1683 | -2539 | -2608 | -1717 |
| | 3 | -40 | -791 | -1381 | -2018 | -1307 | 320 | -806 | -1691 | -2608 | -1717 |
| | 4 | -2662 | -3173 | -3154 | -2227 | -2227 | -3613 | -4380 | -4351 | -2875 | -2875 |
| | 5 | -2097 | -2589 | -2589 | -2227 | -2227 | -2765 | -3504 | -3504 | -2875 | -2875 |
| | 6 | -1532 | -2005 | -2024 | -2227 | -2227 | -1917 | -2627 | -2656 | -2875 | -2875 |
| | 7 | -4154 | -4387 | -3798 | -2435 | -3146 | -5850 | -6201 | -5316 | -3143 | -4034 |
| | 8 | -3588 | -3803 | -3232 | -2435 | -3146 | -5003 | -5324 | -4469 | -3143 | -4034 |
| | 9 | -3023 | -3219 | -2667 | -2435 | -3146 | -4155 | -4448 | -3621 | -3143 | -4034 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 148 | 96 | 34 | 15 | 70 | 222 | 144 | 51 | 19 | 88 |

5.1.6. Pila 6 (8 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|-----|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -17160 | 0 | 1172 | 25348 | 11524 | -23521 | 0 | 1758 | 38023 | 17285 |
| | 2 | -21721 | 239 | 718 | 24050 | 11953 | -30364 | 358 | 1078 | 36075 | 17930 |
| | 3 | -21721 | 0 | 285 | 14738 | 11524 | -30364 | 0 | 427 | 22107 | 17285 |
| | 4 | -7467 | 0 | 129 | 4101 | 0 | -10890 | 0 | 163 | 5354 | 0 |
| | 5 | -7467 | 0 | 543 | 14737 | 2 | -10890 | 0 | 681 | 18682 | 2 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1594 | -2244 | -2639 | -750 | -275 | -2114 | -3089 | -3681 | -1122 | -527 |
| | 2 | -1446 | -2052 | -2309 | -820 | -527 | -1892 | -2801 | -3186 | -1214 | -846 |
| | 3 | -430 | -1037 | -1475 | -750 | -275 | -368 | -1278 | -1935 | -1122 | -526 |
| | 4 | -2727 | -3319 | -3297 | -933 | -933 | -3813 | -4701 | -4668 | -1361 | -1361 |
| | 5 | -1563 | -2111 | -2133 | -933 | -933 | -2067 | -2890 | -2922 | -1361 | -1361 |
| | 6 | -3860 | -4394 | -3956 | -1117 | -1592 | -5512 | -6313 | -5656 | -1600 | -2196 |
| | 7 | -2844 | -3378 | -3122 | -1046 | -1340 | -3988 | -4790 | -4405 | -1509 | -1876 |
| | 8 | -2696 | -3186 | -2792 | -1117 | -1592 | -3766 | -4502 | -3910 | -1600 | -2196 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | ΔM_x | 234 | 144 | 57 | 26 | 109 | 352 | 215 | 85 | 33 | 136 |
| | ΔM_y | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 0 | 0 |
| | ΔM | 234 | 151 | 57 | 26 | 109 | 352 | 227 | 85 | 33 | 136 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -1584 | -2234 | -2636 | -749 | -270 | -2098 | -3083 | -3677 | -1121 | -520 |
| | 2 | -1440 | -2048 | -2307 | -820 | -524 | -1882 | -2795 | -3184 | -1213 | -842 |
| | 3 | -420 | -1028 | -1472 | -749 | -270 | -352 | -1265 | -1931 | -1121 | -520 |
| | 4 | -2727 | -3321 | -3297 | -933 | -933 | -3813 | -4705 | -4668 | -1361 | -1361 |
| | 5 | -1563 | -2109 | -2133 | -933 | -933 | -2067 | -2886 | -2922 | -1361 | -1361 |
| | 6 | -3870 | -4402 | -3958 | -1118 | -1597 | -5528 | -6326 | -5660 | -1602 | -2202 |
| | 7 | -2850 | -3382 | -3123 | -1047 | -1343 | -3998 | -4796 | -4407 | -1510 | -1880 |
| | 8 | -2706 | -3190 | -2794 | -1118 | -1597 | -3782 | -4508 | -3914 | -1602 | -2202 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 147 | 95 | 36 | 16 | 68 | 220 | 142 | 53 | 20 | 85 |

5.1.7. Pila 7 (6 pali)

| | | Sollecitazione | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------|-----|-----|-------|------|--------|-----|------|-------|------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | N | V3 | V2 | M3 | M2 | N | V3 | V2 | M3 | M2 |
| Combinazione | 1 | -13821 | 0 | 845 | 8168 | 3689 | -18751 | 0 | 1267 | 12252 | 5533 |
| | 2 | -17942 | 243 | 570 | 13456 | 4127 | -24933 | 365 | 854 | 20184 | 6190 |
| | 3 | -17942 | 0 | 330 | 11239 | 3689 | -24933 | 0 | 495 | 16859 | 5533 |
| | 4 | -6511 | 0 | 17 | 669 | 0 | -9333 | 0 | 22 | 969 | 0 |
| | 5 | -6511 | 0 | 77 | 1285 | 0 | -9333 | 0 | 97 | 1741 | 0 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -2051 | -2463 | -2564 | -1047 | -1012 | -2747 | -3364 | -3516 | -1501 | -1457 |
| | 2 | -1627 | -1989 | -2140 | -1047 | -1012 | -2111 | -2653 | -2880 | -1500 | -1457 |
| | 3 | -2515 | -3227 | -3202 | -1085 | -1085 | -3443 | -4511 | -4473 | -1556 | -1556 |
| | 4 | -2091 | -2753 | -2778 | -1085 | -1085 | -2807 | -3800 | -3837 | -1556 | -1556 |
| | 5 | -2980 | -3992 | -3841 | -1123 | -1158 | -4139 | -5658 | -5431 | -1611 | -1654 |
| | 6 | -2556 | -3518 | -3417 | -1123 | -1158 | -3503 | -4946 | -4795 | -1611 | -1654 |

| | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----|----|---|----|-----|-----|-----|---|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | ΔM_x | 225 | 152 | 88 | 4 | 21 | 338 | 228 | 132 | 6 | 26 |
| | ΔM_y | 0 | 65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 97 | 0 | 0 | 0 |
| | ΔM | 225 | 165 | 88 | 4 | 21 | 338 | 248 | 132 | 6 | 26 |

| N palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Palo | 1 | -2039 | -2458 | -2559 | -1047 | -1011 | -2728 | -3357 | -3508 | -1500 | -1455 |
| | 2 | -1615 | -1976 | -2135 | -1047 | -1011 | -2092 | -2634 | -2872 | -1500 | -1455 |
| | 3 | -2515 | -3231 | -3202 | -1085 | -1085 | -3443 | -4517 | -4473 | -1556 | -1556 |
| | 4 | -2091 | -2749 | -2778 | -1085 | -1085 | -2807 | -3794 | -3837 | -1556 | -1556 |
| | 5 | -2992 | -4004 | -3846 | -1123 | -1159 | -4158 | -5677 | -5439 | -1611 | -1656 |
| | 6 | -2568 | -3523 | -3422 | -1123 | -1159 | -3522 | -4954 | -4803 | -1611 | -1656 |

| V palo | | Combinazione di carico | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------------|-----|----|---|----|-----|-----|----|---|----|
| | | SLE | | | | | SLU | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 141 | 103 | 55 | 3 | 13 | 211 | 155 | 83 | 4 | 16 |

5.2. Verifica con il "capacity design"

Nello spettro di progetto per lo SLU è stato considerato un coefficiente di struttura q posto, secondo normativa, pari a 3.5. Tale coefficiente tiene conto delle risorse di duttilità che gli elementi componenti la struttura hanno quando avvengono plasticizzazioni nelle sezioni maggiormente sollecitate.

Le sollecitazioni così ottenute rappresentano quindi un valore minimo necessario di resistenza il quale, associato ad una duttilità non inferiore a 3.5 della pila stessa, assicura una tenacità adeguata nei confronti del crollo strutturale.

In effetti, la resistenza ultima delle pile sarà, caso per caso, anche sensibilmente maggiore delle sollecitazioni calcolate con l'analisi sismica e tale capacità potrebbe essere attivata nel caso di un sisma superiore a quello di progetto, oppure qualora il comportamento del modello teorico sia molto differente da quello reale.

Per prevenire quindi rotture indesiderate nelle fondazioni è opportuno dimensionare e verificare le fondazioni con il "capacity design". Tale verifica è necessaria per garantire che venga rispettata la gerarchia delle resistenze e non si abbiano, quindi, danni gravi nelle componenti difficili da riparare o inaccessibili concentrando, invece, le plasticizzazioni negli elementi duttili passibili di essere ripristinati.

Si procede pertanto alla verifica dei pali, considerando agenti sulle strutture di fondazione i carichi verticali ricavati per la combinazione sismica ed i momenti ultimi delle pile, ricavati attraverso i diagrammi di interazione M-N:

| MOMENTI ULTIMI DELLE PILE | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | PILA 1 | | PILA 2 | | PILA 3 | | PILA 4 | | PILA 5 | | PILA 6 | | PILA 7 | |
| | | M3 | M2 | M3 | M2 | M1 | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 |
| trasv. | | 55153 | 0 | 57133 | 0 | 233112 | 0 | 233662 | 0 | 73820 | 0 | 43095 | 0 | 23418 | 0 |
| long. | | 0 | 50691 | 0 | 52731 | 0 | 215428 | 0 | 215945 | 0 | 69075 | 0 | 38797 | 0 | 21160 |

Si ricavano, quindi, i carichi su ogni singolo palo dei plinti nei casi di sisma lungo l'asse x e di sisma lungo l'asse y:

| N palo | PLINTO 1 | | PLINTO 2 | | PLINTO 3 | | PLINTO 4 | | PLINTO 5 | | PLINTO 6 | | PLINTO 7 | | |
|--------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|
| | trasv. | long. | |
| Palo | 1 | -411 | -6458 | -329 | -5545 | 1887 | -9277 | 1850 | -9341 | -257 | -5433 | 564 | -3083 | -225 | -2772 |
| | 2 | -411 | -632 | -1307 | -2882 | 1887 | -3293 | 1850 | -3343 | -257 | -2875 | -173 | -1361 | -225 | -340 |
| | 3 | -3545 | -6458 | -329 | -219 | 1887 | 2691 | 1850 | 2656 | -257 | -316 | 564 | 598 | -1556 | -2772 |
| | 4 | -3545 | -632 | -2882 | -5545 | -1566 | -9277 | -1612 | -9341 | -2875 | -5433 | -1361 | -3321 | -1556 | -340 |
| | 5 | -6679 | -6458 | -2882 | -219 | -1566 | -3293 | -1612 | -3343 | -2875 | -2875 | -1361 | 598 | -2886 | -2772 |
| | 6 | -6679 | -632 | -5435 | -5545 | -1566 | 2691 | -1612 | 2656 | -2875 | -316 | -3287 | -3321 | -2886 | -340 |
| | 7 | - | - | -4457 | -2882 | -5020 | -9277 | -5074 | -9341 | -5492 | -5433 | -2549 | -1361 | - | - |
| | 8 | - | - | -5435 | -219 | -5020 | -3293 | -5074 | -3343 | -5492 | -2875 | -3287 | 598 | - | - |
| | 9 | - | - | - | - | -5020 | 2691 | -5074 | 2656 | -5492 | -316 | - | - | - | - |
| | 10 | - | - | - | - | -8473 | -9277 | -8535 | -9341 | - | - | - | - | - | - |
| | 11 | - | - | - | - | -8473 | -3293 | -8535 | -3343 | - | - | - | - | - | - |
| | 12 | - | - | - | - | -8473 | 2691 | -8535 | 2656 | - | - | - | - | - | - |

Poiché le sollecitazioni sono accettabili, si conclude che le fondazioni sono state progettate per avere una resistenza maggiore di quella delle pile.

5.3. Verifica a pressoflessione (S.L.U.)

Si procede con la verifica a pressoflessione dei pali nel modo seguente:

si ricavano i momenti M_x e M_y sui pali, ipotizzando che i pali siano impediti di ruotare in testa per la presenza del plinto, assunto indeformabile. Questi momenti vengono ricavati ipotizzando il palo quale trave in suolo elastico, nel modo seguente:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

con

$$M_x = \frac{V_2 L_0}{n} \quad e \quad M_y = \frac{V_3 L_0}{n}$$

dove: V_2 e V_3 sono i tagli massimi trasmessi alla fondazione
 n è il numero dei pali

$$L_0 = \sqrt[4]{4 \frac{EI}{E_s}} \quad \text{è la lunghezza elastica del palo}$$

EI è la rigidità flessionale del palo

$E_s = 30000 \text{ kN/m}^3$ è la costante di sottofondo del terreno.

Le sollecitazioni assiali N sono quelle derivanti dalla verifica con il "capacity design".

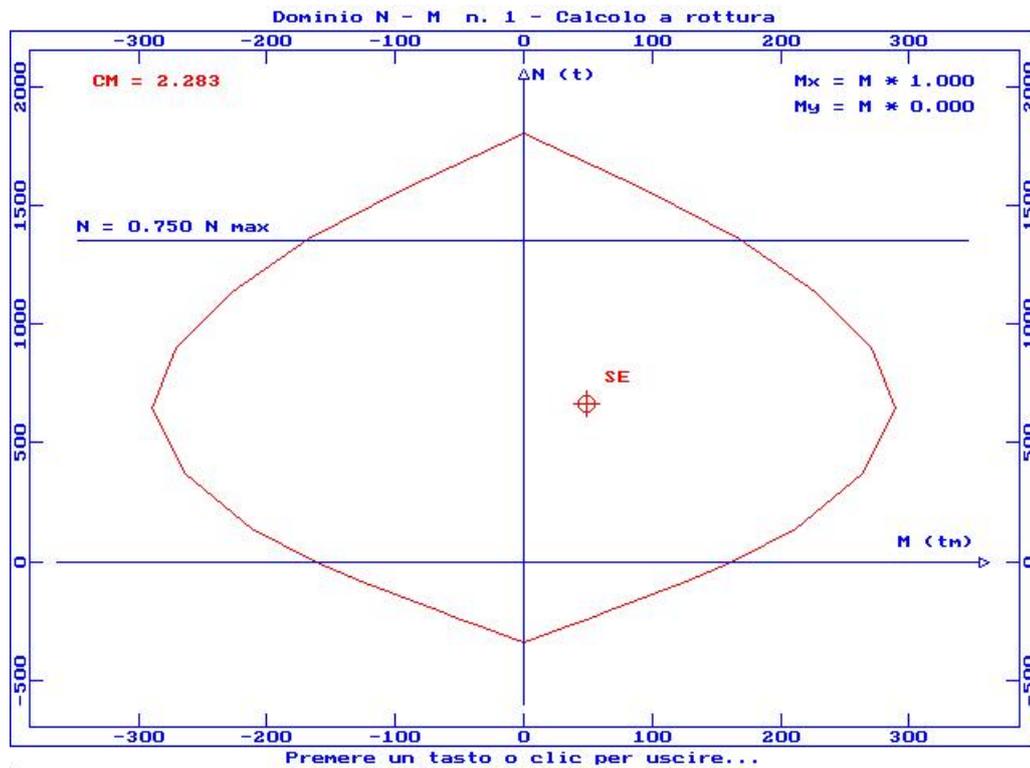
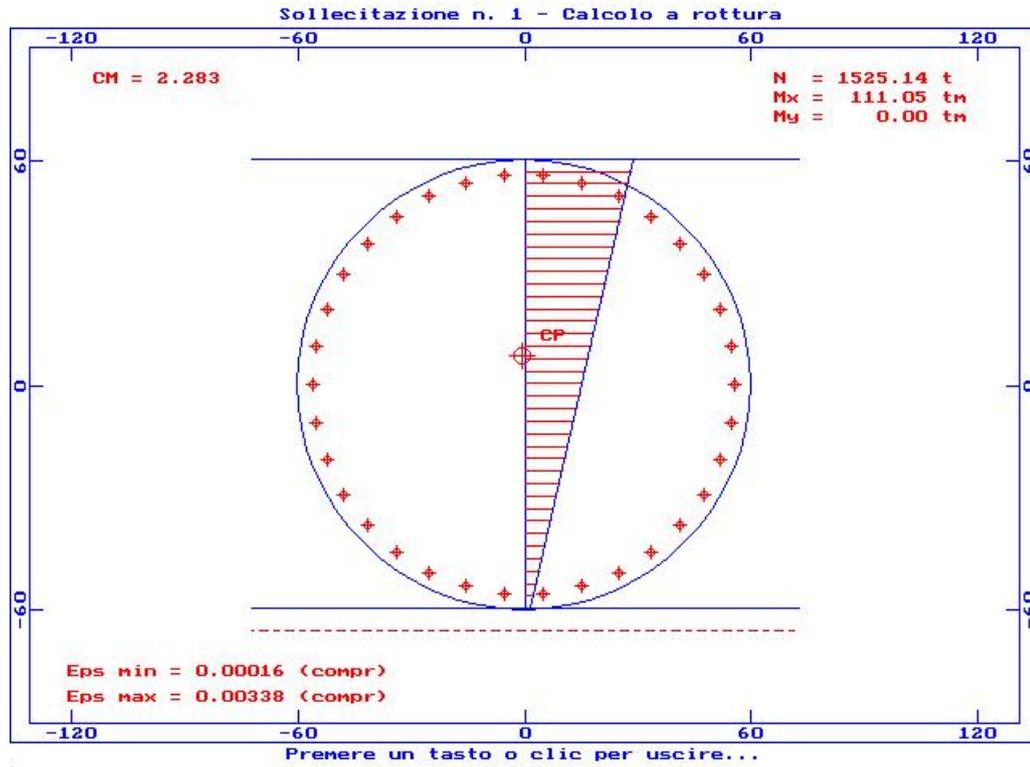
Viene eseguita la verifica a pressoflessione sui seguenti pali:

- palo A: il più compresso tra tutti i pali di diametro pari a 1200mm
- palo B: il meno compresso, ma più inflesso tra tutti i pali di diametro pari a 1200mm
- palo C: il più compresso tra tutti i pali di diametro pari a 1500mm
- palo D: il meno compresso, ma più inflesso tra tutti i pali di diametro pari a 1500mm

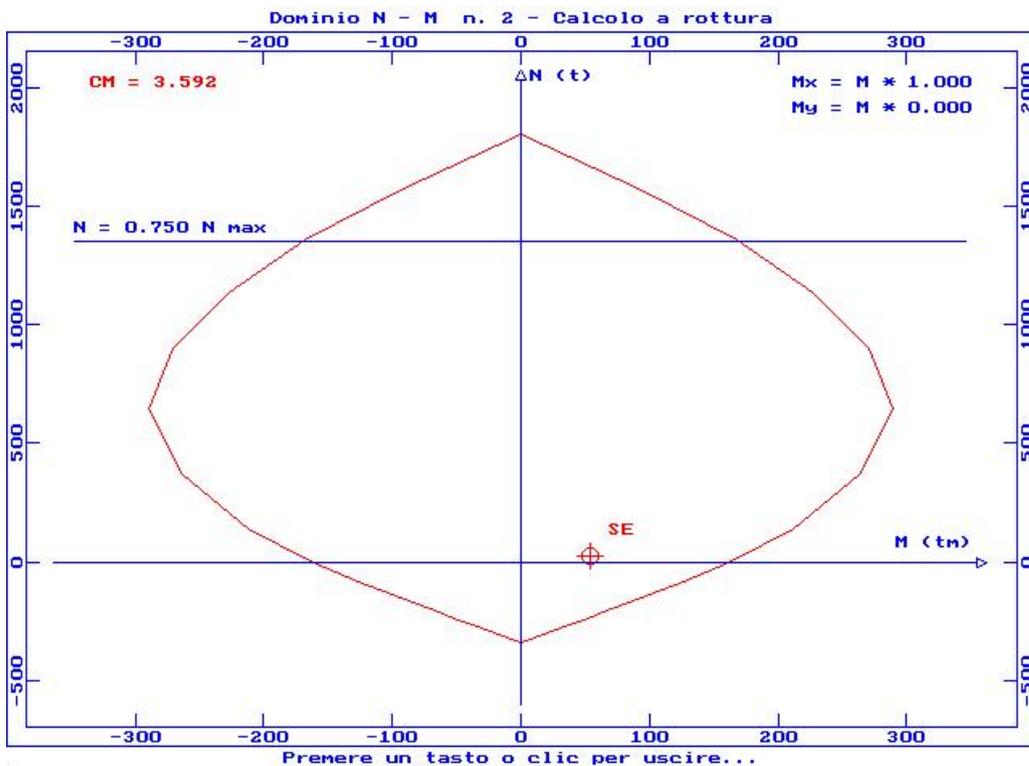
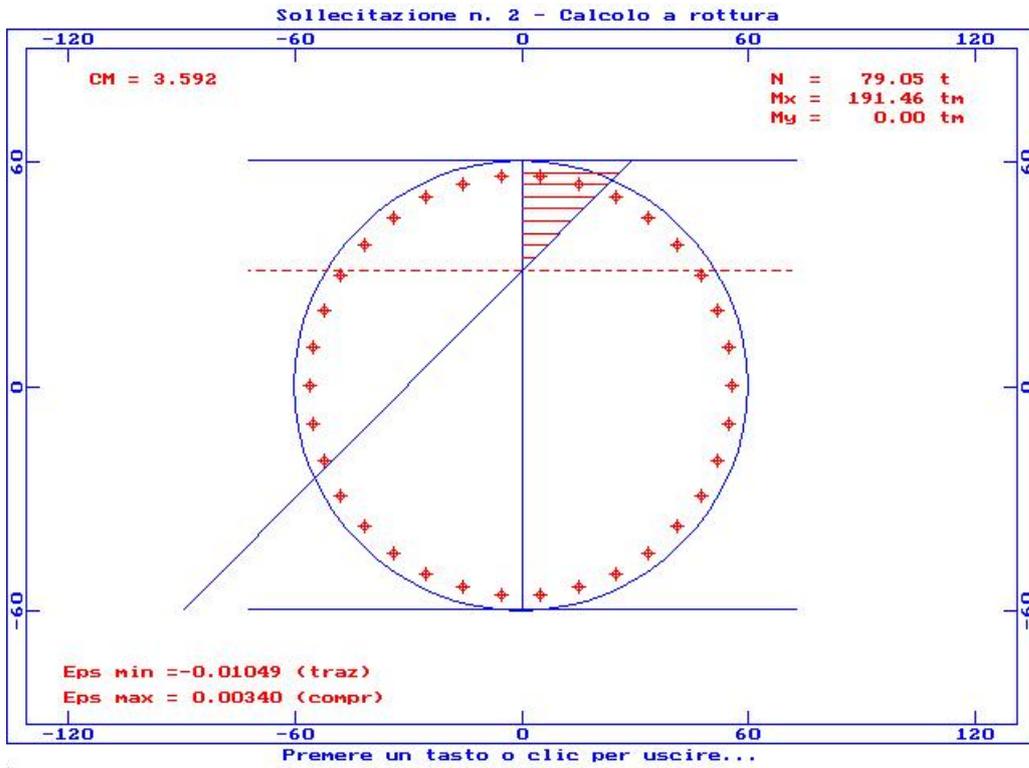
I quattro pali presi in considerazione sono soggetti alle seguenti sollecitazioni:

| Palo | Plinto | Combinazione | Diametro palo | Armatura | Compr. max | Compr. min | Traz. max | Momento |
|------|--------|--------------|---------------|-----------------|------------|------------|-----------|---------|
| A | 1 | 1 | 1200 | 90.26 | -6679 | - | - | 488 |
| B | 2 | 1 | | | - | -219 | - | 533 |
| C | 4 | 1 | 1500 | 116.80 | -9341 | - | - | 569 |
| D | 3 | 4 | | | - | - | 2691 | 628 |
| | | | | cm ² | kN | kN | kN | kN m |

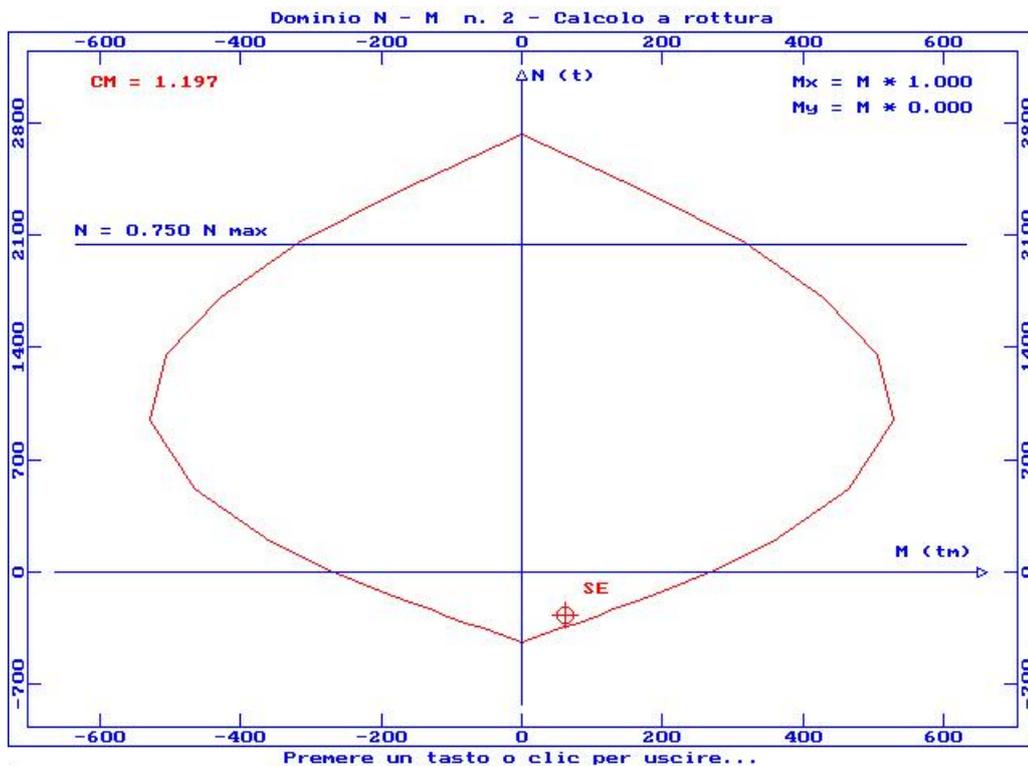
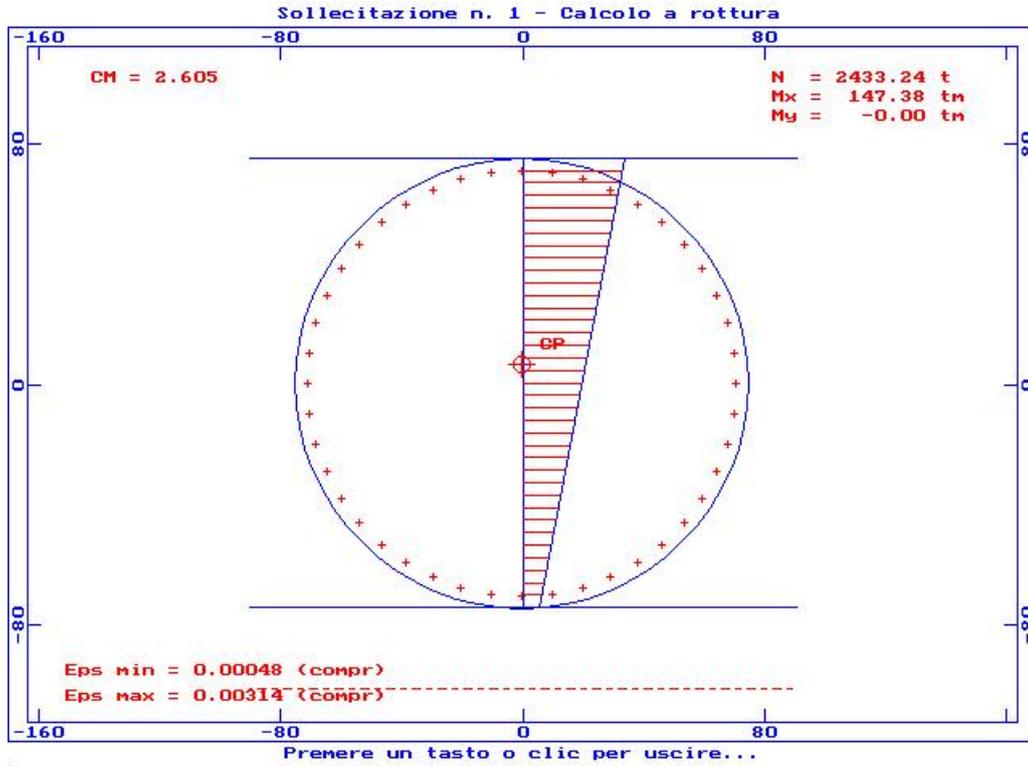
5.3.1. Palo A ($\Phi=1200$ mm)



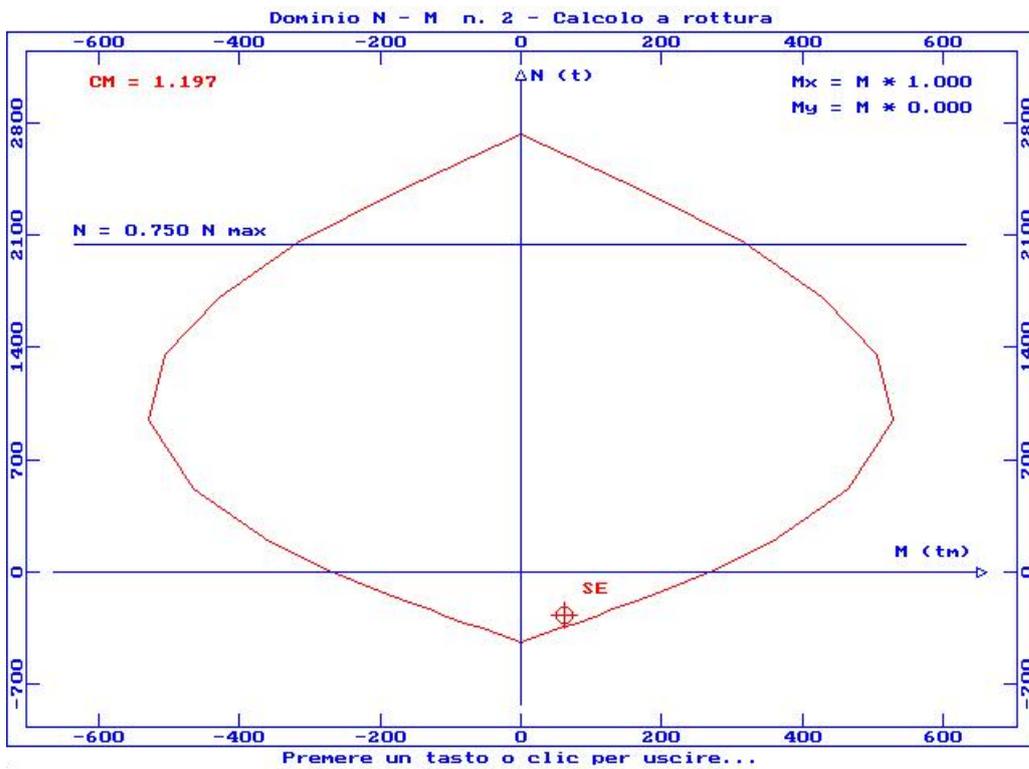
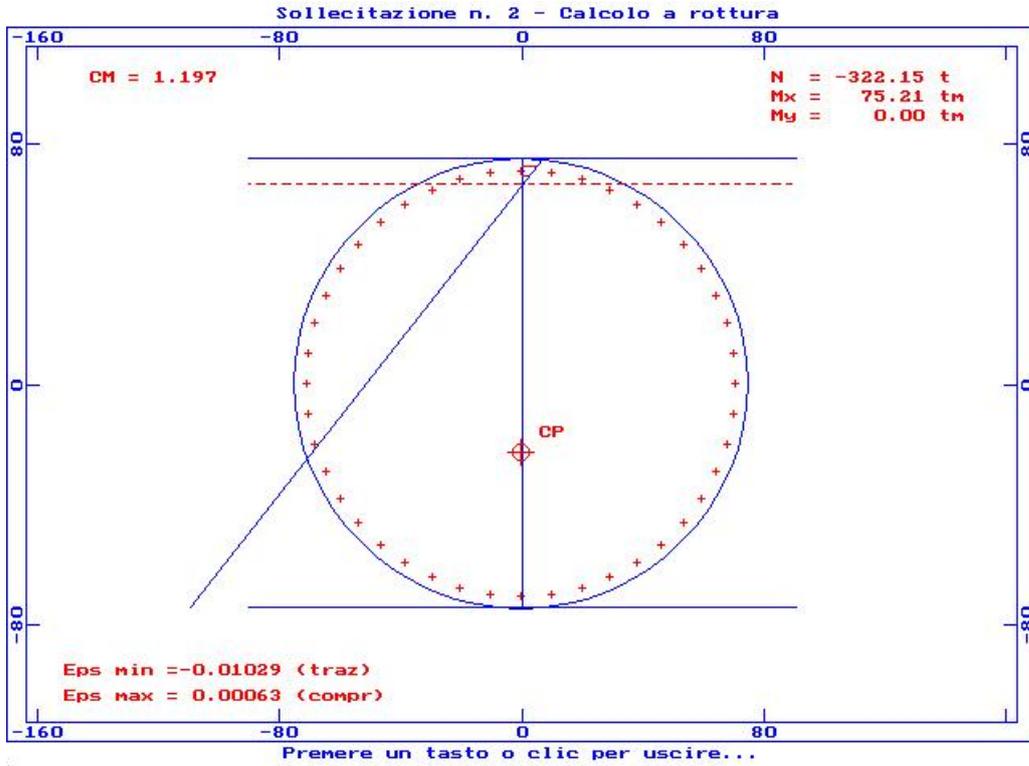
5.3.2. Palo B ($\Phi=1200$ mm)



5.3.3. Palo C ($\Phi=1500$ mm)



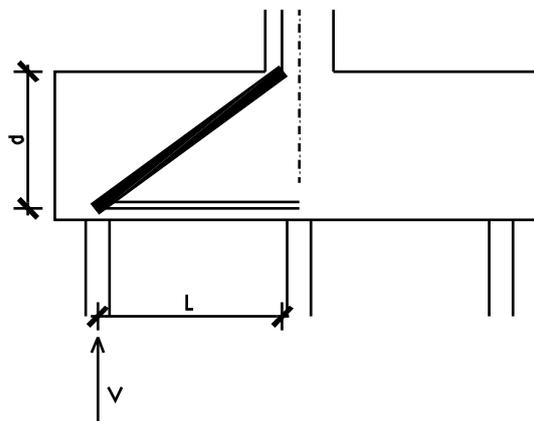
5.3.4. Palo D ($\Phi=1500$ mm)



6. Verifica dei plinti

6.1. Verifica a flessione (S.L.U.)

Si considera lo schema tirante-puntone riportato in figura:



Se si indica con V il taglio, ottenuto depurando del peso proprio del plinto i carichi sui pali, la forza che dovrà essere assorbita dall'armatura inferiore è pari a:

$$F = V \frac{L}{d}$$

che diviso per la tensione di snervamento dell'acciaio fornisce l'area necessaria:

$$A = \frac{F}{f_{yd}}$$

Nella seguente tabella sono riportati i massimi tagli agenti sui plinti da 6, 8, 9 e 12 pali, le F e le conseguenti armature:

| | direz. | Vmax | L | d | F | A |
|---------|--------|-------|------|------|-------|----------------|
| 6 pali | x | 9151 | 1.15 | 1.62 | 6496 | 0.0174 |
| | y | 6332 | 2.4 | 1.62 | 9380 | 0.0251 |
| 8 pali | x | 9683 | 1.3 | 1.62 | 7771 | 0.0208 |
| | y | 5628 | 2.45 | 1.62 | 8511 | 0.0228 |
| 9 pali | x | 8446 | 1.60 | 1.80 | 7508 | 0.0201 |
| | y | 10649 | 2.45 | 1.80 | 14495 | 0.0388 |
| 12 pali | x | 21526 | 1.60 | 2.25 | 7508 | 0.0409 |
| | y | 15400 | 2.45 | 2.25 | 14495 | 0.0448 |
| | | kN | m | m | kN | m ² |

6.2. Verifica a taglio (S.L.U.)

La verifica secondo l'EC2 si basa sui seguenti tre valori della resistenza di calcolo:

- V_{Rd1} resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio
- V_{Rd2} massima forza di taglio di calcolo che può essere sopportata senza rottura delle bielle
- V_{Rd3} forza di taglio di calcolo che può essere sopportata da un elemento con armatura a taglio

Le sezioni in cui il taglio $V_{Sd} < V_{Rd1}$ non richiedono armature per il taglio, per le sezioni in cui, invece, $V_{Sd} > V_{Rd1}$ va prevista un'armatura a taglio tale che $V_{Sd} = \alpha V_{Rd3}$. In nessuna sezione, inoltre si può avere $V_{Sd} > V_{Rd2}$.

La resistenza a taglio di calcolo V_{Rd1} e V_{Rd2} sono dati da:

$$V_{Rd1} = k_{Rd} k_1 (1.2 + 40 \frac{A_{s1}}{b_w d}) b_w d$$

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} f_{cd} b_w 0.9 d$$

- dove:
- $k_1 = (1.6 - d) = \alpha_1$
 - $k_1 = A_{s1} / (b_w d) = \alpha_1 0.02$
 - A_{s1} è l'armatura ricavata nel PARAGRAFO 6.1
 - d è l'altezza efficace
 - b_w è la larghezza minima della sezione lungo l'altezza efficace
 - $f_{Rd} = (0.25 f_{ctk0.05}) / \gamma_C$ è la resistenza unitaria a taglio di calcolo di riferimento
 - $\gamma_C = 1.6$
 - $\alpha_1 = 2.5 d / x$, con $\alpha_1 = \alpha_1 = \alpha_1$ è un fattore che tiene conto di carichi concentrati in prossimità degli appoggi
 - $x = 1.25 d$ è la distanza dagli appoggi dei carichi concentrati
 - $= 0.7 - f_{ck} / 200 = \alpha_1 0.5$ (f_{ck} in N/mm²).

Nel caso in cui $V_{Sd} > V_{Rd1}$, la resistenza a taglio è data da:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$$

- dove:
- $V_{cd} = V_{Rd1}$ è il contributo del calcestruzzo
 - V_{wd} è il contributo delle armature a taglio.

Nel caso di armature di taglio verticali si ha:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd}$$

- dove:
- A_{sw} è l'area dell'armatura a taglio
 - s è il passo delle staffe
 - f_{ywd} è lo snervamento di calcolo delle armature a taglio

Nel caso di armature di taglio inclinate di un angolo α , si ha:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$$

dove s è il passo misurato sull'asse longitudinale.

Nella verifica a schiacciamento del puntone compresso, V_{Rd2} è dato dalla relazione:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} f_{cd} b_w 0.9 d (1 + \cot \alpha).$$

6.2.1. Plinto a 6 pali

| DIMENSIONI PLINTO | | |
|-------------------|---|---------|
| lunghezza | a | 8.00 m |
| larghezza | b | 11.00 m |
| altezza | h | 1.80 m |
| altezza utile | d | 1.62 m |

| MATERIALI | | |
|------------------------|------------|-----------------------|
| calcestruzzo | R_{ck} | 35 MPa |
| | f_{ck} | 29 MPa |
| | γ_c | 1.6 |
| tensione limite taglio | f_{cd} | 18 MPa |
| | r_{rd} | 316 kN/m ² |
| acciaio FeB44k | f_{yd} | 374 MPa |

| ASSE VERIFICA | | | | |
|--|-----------|--------|--------|----------------|
| | | x | y | |
| distanza palo-pila | x | 1.15 | 2.40 | m |
| coefficiente tensione | | 3.52 | 1.69 | |
| larghezza sezione | b_w | 11.00 | 8.00 | m |
| area necessaria | A_s | 0.0174 | 0.0251 | m ² |
| diametro ferri | | 26 | 26 | mm |
| numero ferri | n | 36 | 52 | |
| area ferri longitudinali | A_{sl} | 0.0191 | 0.0276 | m ² |
| taglio massimo agente | V_{sd} | 9151 | 6332 | kN |
| taglio massimo per elementi non armati | V_{rd1} | 24647 | 8881 | kN |
| taglio limite | V_{rd2} | 72797 | 52944 | kN |

Non è necessaria armatura a taglio.

6.2.2. Plinto a 8 pali

| DIMENSIONI PLINTO | | | |
|-------------------|---|-------|---|
| lunghezza | a | 8.50 | m |
| larghezza | b | 11.60 | m |
| altezza | h | 1.80 | m |
| altezza utile | d | 1.62 | m |

| MATERIALI | | | |
|------------------------|------------|-----|-------------------|
| calcestruzzo | R_{ck} | 35 | MPa |
| | f_{ck} | 29 | MPa |
| | γ_c | 1.6 | |
| tensione limite taglio | f_{cd} | 18 | MPa |
| | r_{rd} | 316 | kN/m ² |
| acciaio FeB44k | f_{yd} | 374 | MPa |

| ASSE VERIFICA | | | | |
|--|-----------|--------|--------|----------------|
| | | x | y | |
| distanza palo-pila | x | 1.30 | 2.45 | m |
| coefficiente tensione | | 3.12 | 1.65 | |
| larghezza sezione | b_w | 11.60 | 8.50 | m |
| area necessaria | A_s | 0.0208 | 0.0228 | m ² |
| diametro ferri | | 26 | 26 | mm |
| numero ferri | n | 40 | 43 | |
| area ferri longitudinali | A_{sl} | 0.0212 | 0.0228 | m ² |
| taglio massimo agente | V_{sd} | 9683 | 5628 | kN |
| taglio massimo per elementi non armati | V_{rd1} | 23035 | 9108 | kN |
| taglio limite | V_{rd2} | 76768 | 56253 | kN |

Non è necessaria armatura a taglio.

6.2.3. Plinto a 9 pali

| DIMENSIONI PLINTO | | | |
|-------------------|---|-------|---|
| lunghezza | a | 11.50 | m |
| larghezza | b | 11.90 | m |
| altezza | h | 2.00 | m |
| altezza utile | d | 1.80 | m |

| MATERIALI | | | |
|---------------------------|------------|------|-------------------|
| calcestruzzo | R_{ck} | 35 | MPa |
| | f_{ck} | 29 | MPa |
| tensione limite taglio | γ_c | 1.6 | |
| | f_{cd} | 18 | MPa |
| resistenza a trazione cls | r_{rd} | 316 | kN/m ² |
| | f_{ctd} | 1264 | kN/m ² |
| acciaio FeB44k | f_{yd} | 374 | MPa |

| ASSE VERIFICA | | | | |
|--|-----------|--------|--------|----------------|
| | x | y | | |
| distanza palo-pila | x | 1.60 | 2.45 | m |
| coefficiente tensione | | 2.81 | 1.84 | |
| larghezza sezione | b_w | 11.90 | 11.50 | m |
| area long. necessaria | A_s | 0.0201 | 0.0388 | m ² |
| diametro ferri longitudinali | | 26 | 26 | mm |
| numero ferri longitudinali | n | 48 | 77 | |
| area ferri longitudinali | A_{sl} | 0.0255 | 0.0409 | m ² |
| taglio massimo agente | V_{sd} | 8446 | 10649 | kN |
| taglio massimo per elementi non armati | V_{rd1} | 23749 | 15366 | kN |
| taglio limite | V_{rd2} | 87504 | 84563 | kN |

Non è necessaria armatura a taglio.

6.2.4. Plinto a 12 pali

| DIMENSIONI PLINTO | | |
|-------------------|---|---------|
| lunghezza | a | 11.50 m |
| larghezza | b | 16.00 m |
| altezza | h | 2.50 m |
| altezza utile | d | 2.25 m |

| MATERIALI | | |
|---------------------------|------------|------------------------|
| calcestruzzo | R_{ck} | 35 MPa |
| | f_{ck} | 29 MPa |
| | γ_c | 1.6 |
| tensione limite taglio | f_{cd} | 18 MPa |
| | r_d | 316 kN/m ² |
| resistenza a trazione cls | f_{ctd} | 1264 kN/m ² |
| acciaio FeB44k | f_{yd} | 374 MPa |

| | ASSE VERIFICA | | | | |
|--|---------------|--------|---------|--------|----------------|
| | base pila | | a 2.5*d | | |
| | x | y | y | | |
| distanza palo-pila | x | 1.60 | 0.00 | 1.13 | m |
| coefficiente tensione | | 3.52 | 5.00 | 1.00 | |
| larghezza sezione | b_w | 16.00 | 11.50 | 11.50 | m |
| area long. necessaria | A_s | 0.0391 | 0.0000 | 0.0144 | m ² |
| diametro ferri longitudinali | | 26 | 26 | 26 | mm |
| numero ferri longitudinali | n | 80 | 115 | 115 | |
| area ferri longitudinali | A_{sl} | 0.0425 | 0.0611 | 0.0611 | m ² |
| taglio massimo agente | V_{sd} | 20568 | 17822 | 10768 | kN |
| taglio massimo per elementi non armati | V_{rd1} | 49877 | 52915 | 10583 | kN |
| taglio limite | V_{rd2} | 147066 | 105703 | 105703 | kN |

É necessaria armatura a taglio per la lunghezza di 2.375m fino al bordo del plinto. Tale armatura andrà estesa per tutta la larghezza (16m) del plinto.

Si sceglie di inserire 12 cavallotti al metro:

| | | |
|--|----------|-----------------------|
| diametro staffe | 26 | mm |
| bracci | br | 24 |
| area armatura trasversale | A_{sw} | 0.0127 m ² |
| passo staffe | s | 1.00 m |
| inclinazione staffe rispetto all'orizzontale | α | 90 |

Tale armatura fornisce i seguenti valori di taglio resistente:

Verifica del conglomerato

| | | |
|-----------|--------|----|
| V_{rd2} | 105703 | kN |
|-----------|--------|----|

 taglio resistente
VERIFICA

Verifica dell'armatura
 trasversale d'anima

| | | |
|-----------|-------|----|
| V_{cd} | 10583 | kN |
| V_{wd} | 9648 | kN |
| V_{rd3} | 19296 | kN |

 taglio assorbito dal CLS teso
 taglio assorbito dall'armatura trasversale
 taglio resistente
VERIFICA

6.3. Verifica a punzonamento (S.L.U.)

Si considera una diffusione delle tensioni secondo un angolo di 33.7° all'interno del plinto. L'EC2 prescrive di effettuare la verifica nella sezione critica in cui tale diffusione è avvenuta completamente, il che equivale a considerare una sezione con altezza pari a d e lunghezza pari a l_w .

La resistenza a taglio è data da:

$$V_{Rd1} = k(1.2 + 40 \frac{l_w}{d})V_{sd}$$

dove a differenza della simbologia utilizzata nel PARAGRAFO 6.2:

$k = \sqrt{1 + \frac{l_w}{d}}$ (l_x e l_y si riferiscono all'armatura tesa disposta rispettivamente nelle direzioni x e y)
 l_w è il perimetro critico, ottenuto secondo la parte 4.3.4.2.1 dell'EC2.

6.3.1. Plinto a 6 pali

taglio massimo agente
 taglio massimo per elementi non armati

| | | |
|-----------|-------|----|
| V_{sd} | 6580 | kN |
| V_{rd1} | 16778 | kN |

6.3.2. Plinto a 8 pali

taglio massimo agente
 taglio massimo per elementi non armati

| | | |
|-----------|-------|----|
| V_{sd} | 6685 | kN |
| V_{rd1} | 14775 | kN |

6.3.3. Plinto a 9 pali

taglio massimo agente
 taglio massimo per elementi non armati

| | | |
|-----------|-------|----|
| V_{sd} | 5440 | kN |
| V_{rd1} | 16929 | kN |

6.3.4. Plinto a 12 pali

taglio massimo agente
 taglio massimo per elementi non armati

| | | |
|-----------|-------|----|
| V_{sd} | 6291 | kN |
| V_{rd1} | 14248 | kN |

7. Le spalle

Nel presente capitolo vengono trattate le analisi e le verifiche delle spalle del viadotto in esame.

Per quanto riguarda le analisi dei carichi e la determinazione delle sollecitazioni provenienti dall'impalcato si rimanda, come già detto nella premessa, alla relazione di questo (D1-CL-VI00-001.doc), mentre per le azioni agenti direttamente sulla spalla (pesi e spinte) il procedimento con cui vengono calcolate le sollecitazioni verrà illustrato qui di seguito.

Dato il carattere di relazione di predimensionamento che riveste la presente i calcoli seguenti sono stati svolti esclusivamente nell'ottica di determinare gli effetti globali sulla spalla (sollecitazioni sui pali), in quanto gli elementi soggetti ad azioni a carattere più locale, che sono la paraghiaia, il muro frontale, i muri andatori, la platea di fondazione e dove presenti le bandiere in appendice ai muri andatori, sono stati dimensionati in modo che sicuramente non avranno problemi di sorta a soddisfare le verifiche.

Nelle analisi che seguiranno sono state utilizzate le seguenti caratteristiche dei terreni:

$$\gamma = 19 \text{ KN/mc}$$

$$C = 0$$

$$\Phi' = 38^\circ$$

e le spinte da essi procurate sono state calcolate come segue:

- In condizioni statiche si utilizza il coefficiente K_0 di spinta a riposo
- In condizioni sismiche le forze possono essere così scritte:

$$F_{s,eq} = (M_{st} + M_{sol} + \gamma h^2) * PGA$$

dove M_{st} sono le masse strutturali e M_{sol} sono quelle non strutturali che possono essere considerate solidali come ad esempio finiture, il terzo termine in parentesi è la spinta delle terre su paramenti verticali e terrapieno orizzontale calcolata come da normativa (ricavata da Eurocodice 8). Il termine equivale a prendere una massa di terra di profondità pari all'altezza, essendo γ il peso di volume del terreno di rinterro.

Tale assunzione è stata introdotta, in alternativa al criterio finora utilizzato (Mononobe-Okabe), per le strutture rigide completamente vincolate quali possono essere le spalle su pali, nel caso cioè non si sviluppi nel terreno uno stato di spinta attiva.

Naturalmente tali condizioni che portano ad utilizzare un metodo di calcolo della spinta più gravoso è valido finché non si sviluppano nel terreno di fondazione fenomeni di plasticizzazione che portano a spostamenti o rotazioni che innescano l'attivazione della spinta attiva; quindi in pratica si può affermare che tale metodo è valido per sismi da stato limite di esercizio, che è quanto faremo per le spalle in questa fase di predimensionamento.

Le verifiche ovviamente verranno condotte in modo da assicurarsi che per tale evento le strutture di progetto non subiscano danni (verifiche allo stato limite di danno, le strutture devono rimanere in campo elastico).

Il periodo di ritorno assunto per questo evento è quello indicato dall'Eurocodice 8 di 95 anni, da cui è possibile ricavare un'intensità attesa per questo evento sismico a partire da quella specificata in normativa per l'evento distruttivo con periodo di ritorno pari a 475 anni, l'espressione utilizzata per scalare l'accelerazione massima attesa al suolo (PGA) è la seguente:

$$PGA_{95} = PGA_{475} * (95/475)^{0.35} = 0.57 PGA_{475}$$

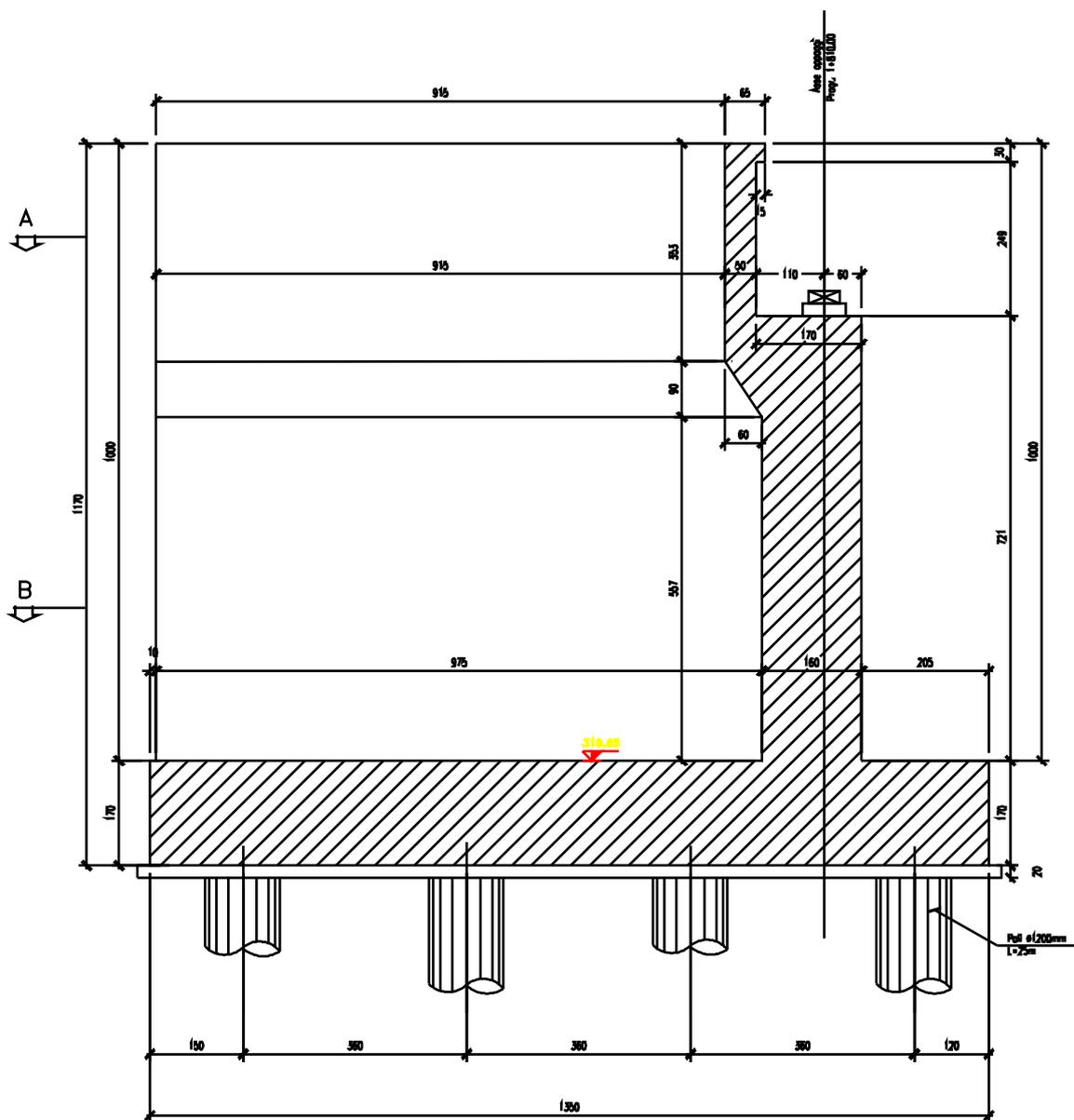
Da notare che, non avendosi dati storici sufficienti per una analisi rigorosa, si è assunto un valore prudenziale per l'esponente della formula precedente all'interno di un range suggerito dall'Eurocodice stesso.

In definitiva per il terremoto con periodo di ritorno di 95 anni si assume per l'area di progetto (I categoria) un $PGA = 0.2 g$.

Passiamo ora ai calcoli relativi alle due spalle:

7.1. Spalla A

Riportiamo prima di esporre i calcoli due immagini illustrative della geometria della spalla.



7.1.1. Analisi dei carichi

I carichi agenti possono dividersi in quelli trasmessi dall'impalcato alla spalla ed in quelli dovuti al peso proprio di questa e alle azioni agenti a tergo di essa.

I momenti calcolati nei paragrafi seguenti sono determinati rispetto al baricentro dell'intradosso della fondazione.

7.1.1.1. *Pesi propri degli elementi della spalla*

PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

| ELEMENTO | b _i [m] | Area | b _t [m] | h [m] | V [m ³] | P [kN] | e _t [m] | e _i [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|---|--------------------|------|--------------------|-------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muro frontale | 1,60 | - | 14,00 | 7,25 | 162,40 | 4060,0 | 4,20 | 0,00 | 5,33 | 17052,0 | 0,0 |
| Paraghiaia (con Hmin) | 0,50 | - | 14,00 | 2,75 | 19,25 | 481,3 | 3,05 | 0,00 | 10,33 | 1467,8 | 0,0 |
| Paraghiaia(tratto variabile) + area dente | 0,00 | 0,60 | 14,00 | 0,00 | 8,40 | 210,0 | 3,05 | 0,00 | 10,33 | 640,5 | 0,0 |
| Muri andatori inferiori | 9,75 | 0,00 | 2,00 | 6,57 | 128,12 | 3202,9 | -1,47 | 0,00 | 4,99 | -4708,2 | 0,0 |
| Muro andatorio superiore SX | 9,15 | - | 0,50 | 3,43 | 15,69 | 392,3 | -1,77 | 6,40 | 9,99 | -694,4 | 2510,8 |
| Muro andatorio superiore DX | 9,15 | - | 0,50 | 3,43 | 15,69 | 392,3 | -1,77 | -6,40 | 9,99 | -694,4 | -2510,8 |
| Platea di fondazione | 13,50 | - | 16,38 | 1,70 | 375,92 | 9398,0 | 0,00 | 0,00 | 0,85 | 0,0 | 0,0 |
| | | | | | | 18136,8 | | | | 13063,3 | 0,0 |

Distanza bordo interno muro frontale dal baricentro della palificata

d_i= 3,4 m

7.1.1.2. *Peso del riempimento sulla zattera di fondazione*

PESO DEL RIEMPIMENTO SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE

| ELEMENTO | b _i [m] | Area | b _t [m] | h [m] | V [m ³] | P [kN] | e _t [m] | e _i [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|---|--------------------|------|--------------------|-------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| riempimento interno Hmin (misto cemento superficiale) | 14,3 | - | - | 3,43 | 502,2 | 9540,9 | -1,9 | 0 | 9,99 | -18127,7 | 0,0 |
| riempimento interno (terreno da rilevato inferiore) | 14,3 | - | - | 6,57 | 948,1 | 18013,0 | -1,6 | 0 | 4,99 | -28820,8 | 0,0 |
| | | | | | | 27553,9 | | | | -46948,4 | 0,0 |

7.1.1.3. *Peso dei sovraccarichi permanenti sulla spalla*

SOVRACCARICHI PERMANENTI

| ELEMENTO | L (m) | Area (m) | γ [KN/m ³] | γ [KN/m ²] | γ [KN/m] | P [kN] | e _t [m] | e _i [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|----------------|-------|----------|------------------------|------------------------|----------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pavimentazione | - | 146,4 | - | 2,5 | - | 366,0 | -1,9 | 0 | 10,05 | -695,4 | 0,0 |
| Barriere*2 | 9,8 | - | - | - | 1,50 | 29,4 | -1,9 | 0 | 10,70 | -55,9 | 0,0 |
| Velette*2 | 9,8 | - | - | - | 3,25 | 63,7 | -1,9 | 0 | 9,95 | -121,0 | 0,0 |
| | | | | | | 459,1 | | | | -872,3 | 0,0 |

7.1.1.4. *Peso degli accidentali sulla spalla*

ACCIDENTALI

| ELEMENTO | L (m) | Area (m) | γ [KN/m ³] | γ [KN/m ²] | γ [KN/m] | P [kN] | e _t [m] | e _i [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|--------------|-------|----------|------------------------|------------------------|----------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sovraccarico | - | 146,4 | - | 20 | - | 2928,0 | -1,9 | 0 | - | -5563,2 | 0,0 |

7.1.1.5. *Spinta del terreno a tergo della spalla*

| SPINTA DEL TERRENO | | | | | | | |
|--|-----|------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|-----------------------|
| γ _{terr} [KN/m ³] | [°] | K0 | H _{sp} [m] | b _{sp} [m] | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
| 19 | 38 | 0,38 | 11,70 | 14 | 7318 | 3,90 | 27562 |

7.1.1.6. *Spinta dovuta ai sovraccarichi permanenti a tergo della spalla*

| SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO PERMANENTE | | | | | | |
|--|------|---------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------|
| [°] | K0 | H _{sp} [m] | q [KN/m] | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
| 38 | 0,38 | 11,70 | 32,5 | 146 | 5,85 | 855 |

7.1.1.7. Spinta dovuta ai sovraccarichi accidentali 20 KN/mq

| SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE 20 KN/mq | | | | | | |
|--|------|---------------------|---------|--------|--------------------|-----------------------|
| [°] | K0 | H _{sp} [m] | q(KN/m) | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
| 38 | 0,38 | 11,7 | 260 | 1169 | 5,85 | 6840 |

7.1.1.8. Spinta in fase sismica del terreno

$F_{s,eq} = 7283 \text{ KN}$ $e_v = 5.85 \text{ m}$ $M_{s,eq} = 42603 \text{ KNxm}$

7.1.1.9. Azione sismica sulle masse della spalla

Riportiamo il calcolo del baricentro delle masse:

PESO PROPRIO SPALLA E PERMANENTI PORTATI.

| ELEMENTO | P [kN] | e _v [m] | m _i (kg) | m e _v |
|---|--------|--------------------|---------------------|------------------|
| Muro frontale | 4060,0 | 5,33 | 41386 | 220382 |
| Paragliaia (con Hmin) | 481,3 | 10,33 | 4906 | 50651 |
| Paragliaia(tratto variabile) + area dente | 210,0 | 10,33 | 2141 | 22102 |
| Muri andatori inferiori | 3202,9 | 4,99 | 32649 | 162756 |
| Muro andatorio superiore SX | 392,3 | 9,99 | 3999 | 39930 |
| Muro andatorio superiore DX | 392,3 | 9,99 | 3999 | 39930 |
| Muro in c.a. in SX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Parte rimanente del marciapiede in SX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Parte rimanente del cordolo in DX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Platea di fondazione | 9398 | 0,85 | 95800 | 81430 |
| Pavimentazione | 366,0 | 10,05 | 3731 | 37495 |
| Barriere*2 | 29,4 | 10,70 | 300 | 3207 |
| Velette*2 | 63,7 | 9,95 | 649 | 6461 |
| | 18596 | | 189560 | 664346 |
| | | | | Z=b _v |
| | | | | 3,50 |

$b_v = (\sum m_i e_{vi}) / (\sum m_i)$

$F_s = 3719 \text{ KN}$ $M_s = 13034 \text{ KNxm}$

I valori calcolati in questo paragrafo valgono sia in senso longitudinale che trasversale alla spalla.

7.1.1.10. Azioni provenienti dall'impalcato

Nella tabella seguente vengono riportate le azioni trasmesse dall'impalcato alla spalla attraverso gli apparecchi d'appoggio.

| | N | MI | Mt | TI | Tt |
|-------------|------|------|------|-----|-----|
| pp+port | 1760 | 7744 | | | |
| Acc N-MI | 1620 | 7128 | 1990 | | |
| Acc Mt I-MI | 876 | 3854 | 3067 | | |
| Acc Mt I | 876 | 3854 | 3067 | | |
| Vento | | | | | 116 |
| Sisma I | | | | 0 | |
| Sisma t | | | | | 71 |
| Attr | | | | 114 | |

7.1.2. Determinazione delle sollecitazioni e verifiche

In questo paragrafo si determinano le sollecitazioni sui pali e si effettua la loro verifica strutturale agli S.L.E..

7.1.2.1. *Sollecitazioni all'intradosso fondazione combinate*

Spalla

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|-------|-------|-------|-------|------|
| AI | 46150 | -6340 | 0 | 7464 | 0 |
| AII (2) | 49078 | -5064 | 0 | 8633 | 0 |
| AII (3) | 49078 | -5064 | 0 | 8633 | 0 |
| AII (4) | 46150 | -6340 | 0 | 7464 | 0 |
| AIII (2) | 49078 | -5064 | 0 | 8633 | 0 |
| AIII (3) | 49078 | -5064 | 0 | 8633 | 0 |
| AIII (4) | 46150 | -6340 | 0 | 7464 | 0 |
| AV (long) | 46150 | 21735 | 0 | 11148 | 0 |
| AV (trasv) | 46150 | -6340 | 13034 | 7464 | 3719 |

Impalcato

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|------|-------|------|-----|-----|
| AI | 1760 | 8786 | 1057 | 114 | 116 |
| AII (2) | 3380 | 15914 | 2413 | 114 | 46 |
| AII (3) | 2636 | 12641 | 3490 | 114 | 46 |
| AII (4) | 2636 | 12641 | 3490 | 114 | 46 |
| AIII (2) | 3380 | 15914 | 2201 | 114 | 23 |
| AIII (3) | 2636 | 12641 | 3278 | 114 | 23 |
| AIII (4) | 2636 | 12641 | 3278 | 114 | 23 |
| AV (long) | 1760 | 7744 | 0 | 0 | 0 |
| AV (trasv) | 1760 | 7744 | 647 | 0 | 71 |

7.1.2.2. *Combinazioni di verifica intradosso fondazioni*

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|-------|-------|-------|-------|------|
| AI | 47910 | 2446 | 1057 | 7579 | 116 |
| AII (2) | 52458 | 10850 | 2413 | 8748 | 46 |
| AII (3) | 51714 | 7577 | 3490 | 8748 | 46 |
| AII (4) | 48786 | 6301 | 3490 | 7579 | 46 |
| AIII (2) | 52458 | 10850 | 2201 | 8748 | 23 |
| AIII (3) | 51714 | 7577 | 3278 | 8748 | 23 |
| AIII (4) | 48786 | 6301 | 3278 | 7579 | 23 |
| AV (long) | 47910 | 29479 | 0 | 11148 | 0 |
| AV (trasv) | 47910 | 1404 | 13681 | 7464 | 3790 |

7.1.2.3. Sollecitazioni sui pali

| se | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | T |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| AI | 2925 | 2938 | 2951 | 2965 | 2978 | 2963 | 2976 | 2989 | 3003 | 3001 | 3014 | 3027 | 3025 | 3038 | 3052 | 3065 | 474 |
| All (2) | 3027 | 3058 | 3088 | 3119 | 3149 | 3181 | 3211 | 3242 | 3272 | 3335 | 3365 | 3396 | 3458 | 3489 | 3519 | 3549 | 547 |
| All (3) | 3011 | 3055 | 3099 | 3143 | 3187 | 3130 | 3174 | 3218 | 3262 | 3249 | 3293 | 3337 | 3323 | 3367 | 3411 | 3455 | 547 |
| All (4) | 2850 | 2894 | 2938 | 2983 | 3027 | 2953 | 2997 | 3041 | 3085 | 3055 | 3099 | 3143 | 3114 | 3158 | 3202 | 3246 | 474 |
| AIII (2) | 3032 | 3060 | 3088 | 3116 | 3144 | 3185 | 3213 | 3241 | 3268 | 3337 | 3365 | 3393 | 3462 | 3490 | 3518 | 3545 | 547 |
| AIII (3) | 3016 | 3058 | 3099 | 3140 | 3182 | 3134 | 3175 | 3217 | 3258 | 3251 | 3293 | 3334 | 3327 | 3369 | 3410 | 3451 | 547 |
| AIII (4) | 2856 | 2897 | 2938 | 2980 | 3021 | 2957 | 2998 | 3040 | 3081 | 3058 | 3099 | 3141 | 3118 | 3159 | 3201 | 3242 | 474 |
| AV (long) | 2477 | 2477 | 2477 | 2477 | 2477 | 2853 | 2853 | 2853 | 2853 | 3230 | 3230 | 3230 | 3606 | 3606 | 3606 | 3606 | 697 |
| AV (trasv) | 2624 | 2797 | 2970 | 3142 | 3315 | 2729 | 2901 | 3074 | 3247 | 2833 | 3006 | 3178 | 2764 | 2937 | 3110 | 3283 | 523 |

Valori massimi

| | Nmax (KN) | T (KN) | Nmin | |
|---------------------|-----------|--------|------|---------|
| Condizioni statiche | | | | |
| | 3549 | 547 | | |
| | | 547 | 3011 | |
| | | 474 | 2850 | |
| | | | | |
| | | | | |
| Condizioni sismiche | 3283 | 523 | | Sisma t |
| | | 523 | 2624 | Sisma t |
| | 3606 | 697 | | Sisma l |
| | | 697 | 2477 | Sisma l |

7.1.2.4. Determinazione delle sollecitazioni di verifica sui pali tramite il metodo della linea elastica

dati geometrici del palo

$\Phi = 1200$ mm
 cls Rck = 25 MPa

$E = 2,85E+07$ KN/m²
 $J = 1,02E-01$ m⁴

Le azioni assiale ed orizzontale agenti in testa palo sono:

$N_{max} = 3.606$ KN
 $H = 697$ KN

$N_{min} = 2.477$ KN
 $H = 697$ KN $H_{max} = 697$ KN

modulo di elasticità del terreno

$E_s = 30000$ KN/mq

tratto di palo libero

$h = 0$ m

vincolo testa palo

c

lunghezza elastica del palo

$L_0 = 4,43$ m

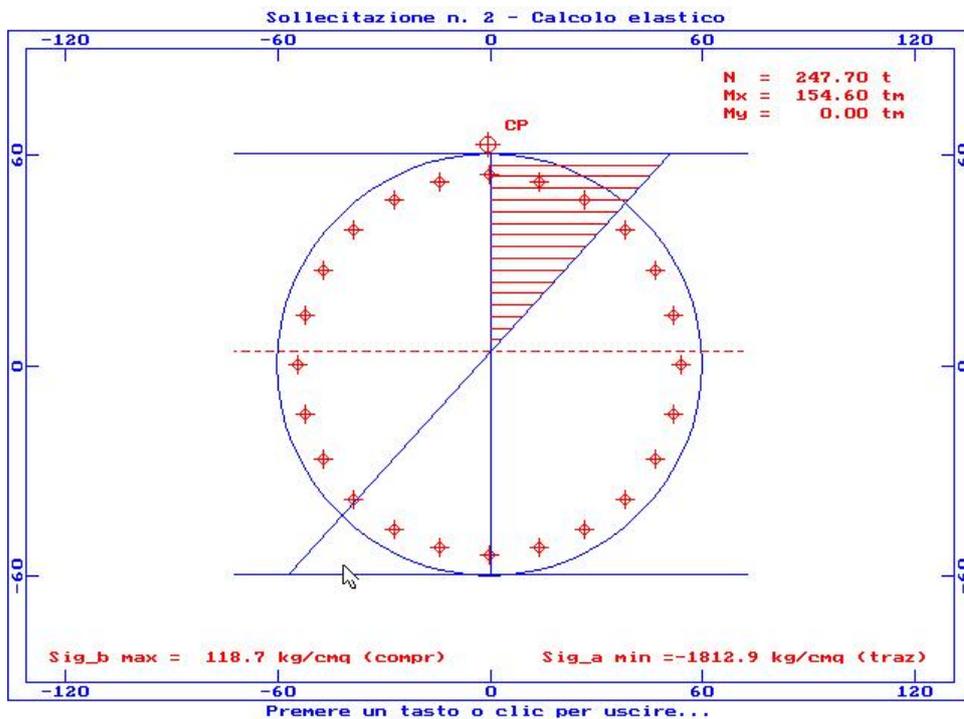
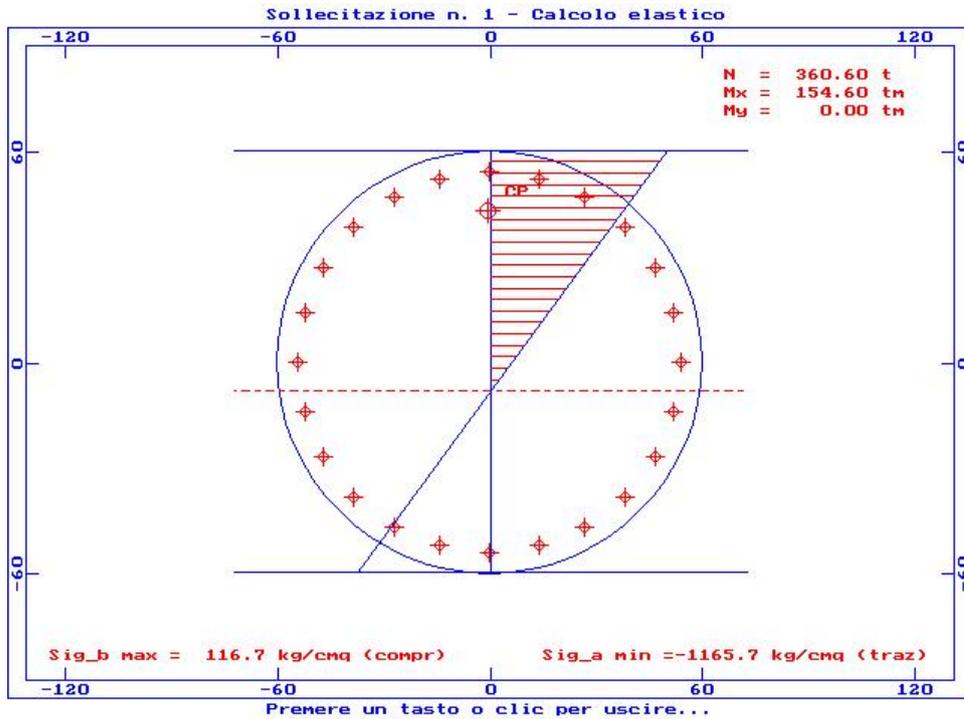
momento flettente massimo testa palo

$M_{max} = 1546$ KNm

Da cui le azioni di pressoflessione sono:

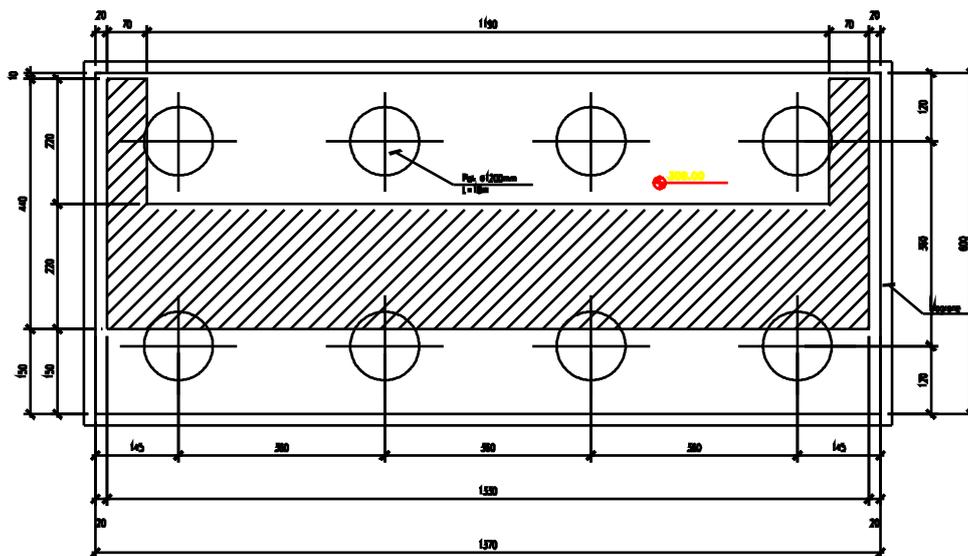
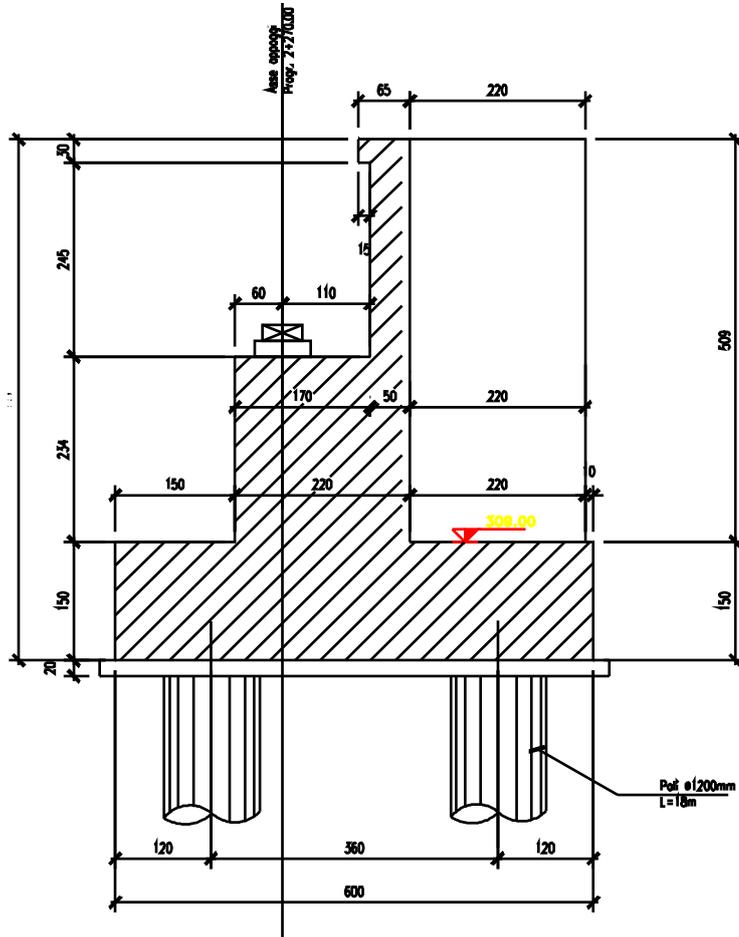
| verifica a pressoflessione dei pali: | | |
|--------------------------------------|--------|---------|
| | N [KN] | M [KNm] |
| cond 1 | 3606 | 1546 |
| cond 2 | 2477 | 1546 |

7.1.2.5. Verifiche strutturali agli S.L.E. dei pali (armatura longitudinale 24D26)



7.2. Spalla B

Riportiamo prima di esporre i calcoli due immagini illustrative della geometria della spalla.



7.2.1. Analisi dei carichi

I carichi agenti possono dividersi in quelli trasmessi dall'impalcato alla spalla ed in quelli dovuti al peso proprio di questa e alle azioni agenti a tergo di essa.

I momenti calcolati nei paragrafi seguenti sono determinati rispetto al baricentro dell'intradosso della fondazione.

7.2.1.1. *Pesi propri degli elementi della spalla*

PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

| ELEMENTO | b _i [m] | Area | b _t [m] | h [m] | V [m ³] | P [kN] | e _i [m] | e _t [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|--|--------------------|------|--------------------|-------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muro frontale | 2,20 | - | 13,30 | 2,34 | 68,47 | 1711,7 | 0,40 | 0,00 | 2,67 | 684,7 | 0,0 |
| Paraghiaia (con Hmin) | 0,50 | - | 13,30 | 2,75 | 18,29 | 457,2 | -0,45 | 0,00 | 5,22 | -205,7 | 0,0 |
| Paraghiaia(tratto variabile) +area dente | 0,00 | 0,05 | 13,30 | 0,00 | 0,60 | 15,0 | -0,45 | 0,00 | 5,22 | -6,7 | 0,0 |
| Muri andatori inferiori | 2,20 | 0,00 | 1,40 | 2,34 | 7,21 | 180,2 | -1,85 | 0,00 | 2,67 | -333,3 | 0,0 |
| Muro andatorio superiore SX | 2,20 | - | 0,70 | 2,75 | 4,24 | 105,9 | -1,85 | 6,25 | 5,22 | -195,9 | 661,7 |
| Muro andatorio superiore DX | 2,20 | - | 0,70 | 2,75 | 4,24 | 105,9 | -1,85 | -6,25 | 5,22 | -195,9 | -661,7 |
| Platea di fondazione | 6,00 | - | 13,70 | 1,50 | 123,30 | 3082,5 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,0 | 0,0 |
| | | | | | | 5658,3 | | | | -252,9 | 0,0 |

Distanza bordo interno muro frontale dal baricentro platea di fondazione

d_i = -0,7 m

7.2.1.2. *Peso del riempimento sulla zattera di fondazione*

PESO DEL RIEMPIMENTO SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE

| ELEMENTO | b _i [m] | Area | b _t [m] | h [m] | V [m ³] | P [kN] | e _i [m] | e _t [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|--|--------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| riempimento interno Hmin (misto cementato superiore) | 2,20 | 27,37 | - | 2,75 | 75,3 | 1430,1 | -1,85 | 0 | 5,22 | -2645,7 | 0,0 |
| riempimento interno (terreno da rilevato inferiore) | 2,20 | 27,37 | - | 2,34 | 64,0 | 1216,9 | -1,85 | 0 | 2,67 | -2251,2 | 0,0 |
| | | | | | | 2647,0 | | | | -4896,9 | 0,0 |

7.2.1.3. *Peso dei sovraccarichi permanenti sulla spalla*

SOVRACCARICHI PERMANENTI

| ELEMENTO | L (m) | Area (m) | γ [KN/m ³] | γ [KN/m ²] | γ [KN/m] | P [kN] | e _i [m] | e _t [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|----------------|-------|----------|------------------------|------------------------|----------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pavimentazione | - | 27,37 | - | 2,5 | - | 68,4 | -1,85 | 0 | 7,00 | -126,6 | 0,0 |
| Barriere*2 | 2,85 | - | - | - | 1,50 | 8,6 | -1,47 | 0 | 7,65 | -12,6 | 0,0 |
| Velette*2 | 2,85 | - | - | - | 3,25 | 18,5 | -1,47 | 0 | 6,90 | -27,2 | 0,0 |
| | | | | | | 95,5 | | | | -166,4 | 0,0 |

7.2.1.4. *Peso degli accidentali sulla spalla*

ACCIDENTALI

| ELEMENTO | L (m) | Area (m) | γ [KN/m ³] | γ [KN/m ²] | γ [KN/m] | P [kN] | e _i [m] | e _t [m] | e _v [m] | m _i [kN m] | m _t [kN m] |
|--------------|-------|----------|------------------------|------------------------|----------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sovraccarico | - | 27,37 | - | 20 | - | 547,4 | -1,47 | 0 | - | -804,7 | 0,0 |

7.2.1.5. *Spinta del terreno a tergo della spalla*

SPINTA DEL TERRENO

| γ _{terr} [KN/m ³] | [°] | K0 | H _{sp} [m] | b _{sp} [m] | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
|--|-----|------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|-----------------------|
| 19 | 38 | 0,38 | 6,59 | 13,3 | 2135 | 2,20 | 4652 |

7.2.1.6. *Spinta dovuta ai sovraccarichi permanenti a tergo della spalla*

SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO PERMANENTE

| [°] | K0 | H _{sp} [m] | q [KN/m] | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
|-----|------|---------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------|
| 38 | 0,38 | 6,59 | 29,75 | 75 | 3,30 | 248 |

7.2.1.7. Spinta dovuta ai sovraccarichi accidentali 20 KN/mq

| SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE 20 KN/mq | | | | | | |
|--|------|---------------------|---------|--------|--------------------|-----------------------|
| [°] | K0 | H _{sp} [m] | q(KN/m) | F [kN] | e _v [m] | m _i [kN m] |
| 38 | 0,38 | 6,59 | 238 | 603 | 3,30 | 1986 |

7.2.1.8. Spinta in fase sismica del terreno

$F_{s,eq} = 2195 \text{ KN}$ $e_v = 3.3 \text{ m}$ $M_{s,eq} = 7232 \text{ KNxm}$

7.2.1.9. Azione sismica sulle masse della spalla

Riportiamo il calcolo del baricentro delle masse:

PESO PROPRIO SPALLA E PERMANENTI PORTATI

| ELEMENTO | P [kN] | e _v [m] | m _i (kg) | m e _v |
|--|--------|--------------------|---------------------|------------------|
| Muro frontale | 1711,7 | 2,67 | 17449 | 46588 |
| Paragliaia (con Hmin) | 457,2 | 5,22 | 4660 | 24304 |
| Paragliaia(tratto variabile) + area dente | 15,0 | 5,22 | 153 | 795 |
| Muri andatori inferiori | 180,2 | 2,67 | 1837 | 4904 |
| Muro andatorio superiore SX | 105,9 | 5,22 | 1079 | 5628 |
| Muro andatorio superiore DX | 105,9 | 5,22 | 1079 | 5628 |
| Muro in c.a. in SX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Parte rimanente del marciapiede in SX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Parte rimanente del cordolo in DX | 0,0 | 0,00 | 0 | 0 |
| Platea di fondazione | 3083 | 0,75 | 31422 | 23567 |
| Pavimentazione | 68,4 | 7,00 | 698 | 4883 |
| Barriere*2 | 8,6 | 7,65 | 87 | 667 |
| riempimento interno H _{ve} (in H _{ve} cemento cementato superiore) | 18,5 | 6,90 | 189 | 1303 |
| | 5754 | | 58652 | 118267 |
| | | | | Z=b _v |
| | | | | 2,02 |

$b_v = (\sum m_i e_{vi}) / (\sum m_i)$

$F_s = 1151 \text{ KN}$ $M_s = 2320 \text{ KNxm}$

I valori calcolati in questo paragrafo valgono sia in senso longitudinale che trasversale alla spalla.

7.2.1.10. Azioni provenienti dall'impalcato

Nella tabella seguente vengono riportate le azioni trasmesse dall'impalcato alla spalla attraverso gli apparecchi d'appoggio.

| | N | MI | Mt | TI | Tt |
|-------------|------|------|------|-----|-----|
| pp+port | 1820 | 1638 | | | |
| Acc N-MI | 1803 | 1623 | 2215 | | |
| Acc Mt I-MI | 975 | 878 | 3414 | | |
| Acc Mt I | 975 | 878 | 3414 | | |
| Vento | | | | | 141 |
| Sisma l | | | | 0 | |
| Sisma t | | | | | 15 |
| Attr | | | | 118 | |

7.2.2. Determinazione delle sollecitazioni e verifiche

In questo paragrafo si determinano le sollecitazioni sui pali e si effettua la loro verifica strutturale agli S.L.E..

7.2.2.1. *Sollecitazioni all'intradosso fondazione combinate*

Spalla

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|------|------|------|------|------|
| AI | 8401 | -416 | 0 | 2210 | 0 |
| AII (2) | 8948 | 766 | 0 | 2813 | 0 |
| AII (3) | 8948 | 766 | 0 | 2813 | 0 |
| AII (4) | 8401 | -416 | 0 | 2210 | 0 |
| AIII (2) | 8948 | 766 | 0 | 2813 | 0 |
| AIII (3) | 8948 | 766 | 0 | 2813 | 0 |
| AIII (4) | 8401 | -416 | 0 | 2210 | 0 |
| AV (long) | 8401 | 4485 | 0 | 3421 | 0 |
| AV (trasv) | 8401 | -416 | 2320 | 2210 | 1151 |

Impalcato

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|------|------|------|-----|-----|
| AI | 1820 | 2116 | 570 | 118 | 141 |
| AII (2) | 3623 | 3739 | 2443 | 118 | 56 |
| AII (3) | 2795 | 2993 | 3642 | 118 | 56 |
| AII (4) | 2795 | 2993 | 3642 | 118 | 56 |
| AIII (2) | 3623 | 3739 | 2329 | 118 | 28 |
| AIII (3) | 2795 | 2993 | 3528 | 118 | 28 |
| AIII (4) | 2795 | 2993 | 3528 | 118 | 28 |
| AV (long) | 1820 | 1638 | 0 | 0 | 0 |
| AV (trasv) | 1820 | 1638 | 61 | 0 | 15 |

7.2.2.2. *Combinazioni di verifica intradosso fondazioni*

| sle | N | MI | Mt | TI | Tt |
|------------|-------|------|------|------|------|
| AI | 10221 | 1700 | 570 | 2328 | 141 |
| AII (2) | 12571 | 4504 | 2443 | 2931 | 56 |
| AII (3) | 11743 | 3759 | 3642 | 2931 | 56 |
| AII (4) | 11196 | 2577 | 3642 | 2328 | 56 |
| AIII (2) | 12571 | 4504 | 2329 | 2931 | 28 |
| AIII (3) | 11743 | 3759 | 3528 | 2931 | 28 |
| AIII (4) | 11196 | 2577 | 3528 | 2328 | 28 |
| AV (long) | 10221 | 6123 | 0 | 3421 | 0 |
| AV (trasv) | 10221 | 1222 | 2381 | 2210 | 1166 |

7.2.2.3. Sollecitazioni sui pali

| sl | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | T |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| AI | 1136 | 1152 | 1167 | 1183 | 1372 | 1388 | 1404 | 1419 | 292 |
| All (2) | 1157 | 1225 | 1293 | 1360 | 1782 | 1850 | 1918 | 1986 | 366 |
| All (3) | 1055 | 1156 | 1257 | 1359 | 1577 | 1678 | 1780 | 1881 | 366 |
| All (4) | 1069 | 1170 | 1271 | 1372 | 1427 | 1528 | 1629 | 1730 | 291 |
| AIII (2) | 1162 | 1226 | 1291 | 1356 | 1787 | 1852 | 1917 | 1981 | 366 |
| AIII (3) | 1060 | 1158 | 1256 | 1354 | 1582 | 1680 | 1778 | 1876 | 366 |
| AIII (4) | 1073 | 1171 | 1269 | 1367 | 1431 | 1529 | 1627 | 1725 | 291 |
| AV (long) | 852 | 852 | 852 | 852 | 1703 | 1703 | 1703 | 1703 | 428 |
| AV (trasv) | 1094 | 1160 | 1226 | 1292 | 1263 | 1329 | 1396 | 1462 | 312 |

Valori massimi

| | N (KN) | T (KN) | |
|---------------------|--------|--------|---------|
| Condizioni statiche | | | |
| | | | |
| | 1986 | 366 | |
| | 1055 | 366 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Condizioni sismiche | 1462 | 312 | Sisma t |
| | 1094 | 312 | Sisma t |
| | 1703 | 428 | Sisma l |
| | 852 | 428 | Sisma l |

7.2.2.4. *Determinazione delle sollecitazioni di verifica sui pali tramite il metodo della linea elastica*

dati geometrici del palo

$\Phi = 1200$ mm
 cls Rck = 25 MPa

$E = 2,85E+07$ KN/m²
 $J = 1,02E-01$ m⁴

Le azioni assiale ed orrizzontale agenti in testa palo sono:

Nmax = 1.703 KN
 H = 428 KN

Nmin = 852 KN
 H = 428 KN

Hmax = 428 KN

modulo di elasticità del terreno

Es = 30000 KN/mq

tratto di palo libero

h = 0 m

vincolo testa palo

c

lunghezza elastica del palo

Lo = 4,43 m

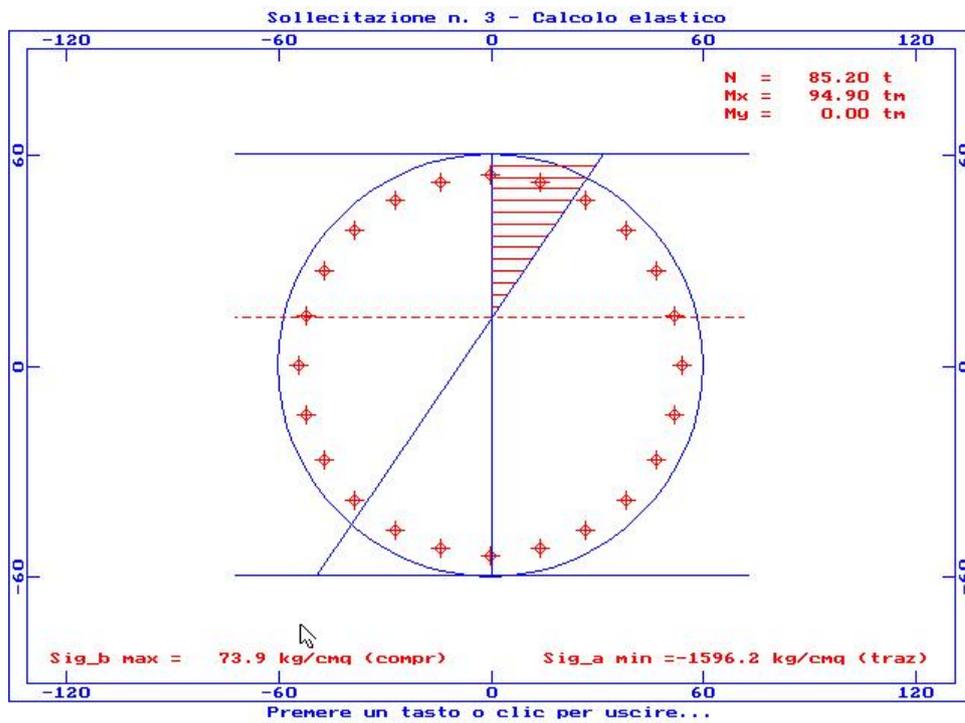
momento flettente massimo testa palo

Mmax = 949 KNm

Da cui le azioni di pressoflessione sono:

| verifica a pressoflessione dei pali: | | |
|--------------------------------------|--------|---------|
| | N [KN] | M [KNm] |
| cond 1 | 1703 | 949 |
| cond 2 | 852 | 949 |

7.2.2.5. Verifiche strutturali agli S.L.E. dei pali (armatura longitudinale 24D26)



La condizione con N minima non è stata verificata in quanto è un valore intermedio di quelli analizzati per la spalla A.

8. Verifiche geotecniche

In questo capitolo sono esposti i risultati delle principali verifiche geotecniche delle opere di fondazione. I criteri di calcolo e di verifica sono esposti nel dettaglio nella Relazione geotecnica generale (D1RBGE00001) alla quale si rimanda anche per il commento di dettaglio delle indagini e per la caratterizzazione geotecnica dei terreni. In questa sede tali aspetti vengono ripresi solo sinteticamente. Sono inoltre esposti e commentati i risultati dei calcoli relativi alle opere in oggetto.

8.1. Inquadramento e schema geotecnico

Il viadotto attraversa a mezza costa l'ampio vallone inciso dal Fosso Piattinelli. Il vallone è interamente inciso nella formazione delle Argille grigio-azzurre, coperta in superficie da una coltre di alterazione e detritico-eluviale.

Nell'area interessata dal viadotto sono stati realizzati 6 stendimenti sismici (B14+B19). Nella zona vicina alla spalla B è stato eseguito il sondaggio S4.

La sismica ha individuato una coltre di alterazione del substrato argilloso (con velocità molto basse dell'ordine di 500 m/s) per spessori generalmente inferiori a 5 m. Solo nella base sismica B15 la coltre raggiunge uno spessore di 7-8 m al centro dell'area di compluvio. Al di sotto della coltre le velocità sono dell'ordine di 1700-1800 m/sec, che possono essere attribuite alla formazione argillosa del substrato mediamente alterata.

Il sondaggio S4, eseguito nella zona di cresta di una dorsale (nei pressi della spalla B) ha evidenziato uno strato di alterazione delle argille molto ridotto. Lo stato di consistenza è risultato mediamente elevato già a poca profondità dal p.c. (valori di $N_{SPT}=63$ a 6 m di profondità).

L'indagine geologica non ha individuato per questo settore fenomeni di instabilità.

Fenomeni di erosione e di dissesto di sponda sono stati rilevati per contro nella zona di fondovalle del fosso, dove risulta ubicata la pila 4. Tale circostanza ha suggerito l'adozione di particolari accorgimenti di protezione degli scavi di fondazione e di interventi idraulici del fosso.

Con riferimento alla caratterizzazione geotecnica esposta nella Relazione Geotecnica generale prima citata e ai risultati delle indagini eseguite nel sito, è stato definito il seguente schema di calcolo.

Sono stati definiti tre strati sub-paralleli al piano di campagna

Da 0 a 5 m argille molto alterate

peso di volume $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$;

resistenza a taglio non drenata $c_u = 50 \text{ kPa}$;

Da 5 a 15 m argille mediamente alterate

peso di volume $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$;

resistenza a taglio non drenata $c_u = 100-200 \text{ kPa}$;

Da 15 a 30 m argille poco alterate o integre

peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$;

resistenza a taglio non drenata $c_u = 200-300 \text{ kPa}$.

8.2. Risultati delle verifiche geotecniche

Le combinazioni di carico agenti sui singoli pali sono stati definiti nei capitoli precedenti. Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti di sicurezza relativi al calcolo della lunghezza dei pali. I carichi relativi alle combinazioni di carico sismiche sono state distinte con il simbolo (*).

Per quanto riguarda la verifica dei pali alle forze orizzontali, condotta con il metodo di Matlock&Reese (v. Relazione geotecnica generale), i risultati corrispondono a quelli condotti per la verifica a pressoflessione del palo, riportati nel capitolo precedente, e pertanto si omettono.

I criteri di calcolo e di verifica delle fondazioni sono riportati nel dettaglio nella Relazione Geotecnica generale. In questa sede sono riportati solo i risultati delle verifiche. Queste sono state sviluppate con l'ausilio di fogli di calcolo elettronico. I relativi tabulati di calcolo sono riportati in coda al paragrafo.

Tab. 4.1 Risultati delle verifiche

LUNGHEZZA DEI PALI

| Appoggio | L pali | D pali | Carichi sul palo N_{max} (kN) | Coefficiente di sicurezza | |
|----------|--------|--------|------------------------------------|---------------------------|-----------|
| | (m) | (mm) | | F_s tot | F_s lat |
| Spalla A | 25 | 1200 | 3606 (*) | 2.59 | 1.69 |
| Pila 1 | 28 | 1200 | 4149 | 2.47 | 1.68 |
| Pila 2 | 30 | 1200 | 4364 | 2.53 | 1.77 |
| Pila 3 | 29 | 1500 | 5749 (*) | 2.51 | 1.6 |
| Pila 4 | 28 | 1500 | 5513 (*) | 2.5 | 1.57 |
| Pila 5 | 24 | 1500 | 4387 | 2.69 | 1.55 |
| Pila 6 | 30 | 1200 | 4402 | 2.51 | 1.75 |
| Pila 7 | 28 | 1200 | 4004 | 2.56 | 1.74 |
| Spalla B | 18 | 1200 | 1986 | 3.19 | 1.65 |

(*) combinazioni sismiche

La verifica dei pali con le sollecitazioni ricavate agli SLU relativamente al palo più caricato sono riportate in appendice. I coefficienti di sicurezza ottenuti sono in accordo con quelli indicati nella Relazione sulle Linee guida analisi antisismica.

8.3. Opere provvisoriale

Nei settori che ricadono a mezza costa o in ogni caso dove gli scavi di fondazione avrebbero raggiunto profondità di un certo rilievo, sono state introdotte specifiche opere di contenimento degli scavi.

Tale accorgimento è risultato necessario considerato che si tratta di pendii in terreni argillosi, le cui condizioni di equilibrio possono essere condizionate in maniera determinante anche da modesti movimenti di terra.

Le opere di contenimento sono costituite da paratie di micropali tirantate. I micropali, con diametro di perforazione 220 mm, saranno armati con tubi di acciaio diametro 168.3 mm spessore 12.5 mm e saranno tirantati con tiranti a 3 trefoli. Le teste dei micropali saranno collegate da un cordolo in c.a. di dimensioni 0.5x0.7 m.

La geometria delle paratie è stata studiata per ogni singolo appoggio in modo da contenere al minimo le altezze di scavo e ottimizzare al contempo il comportamento della struttura. Le paratie sono previste a sbalzo, senza tiranti, fino ad altezze massime di circa 3-3.5 m, mentre per altezze maggiori avranno uno o due ordini di tirantature.

I risultati delle verifiche delle opere provvisoriale sono riportati nella Relazione geotecnica generale.

APPENDICE

Tabulati di calcolo pali

Viadotto Bartolomeo 1. Pila 1. Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | convenzione | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------------|-------|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,20 |
| profondità punta palo | S _t | 28 | perimetro | p.p | 3,77 |
| lunghezza utile palo | L _u | 28 | area | a.p | 1,13 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | | 23,33 |

| | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 | Parametri di output | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|
| H ₀ = 0 | H ₁ = 5 | H ₂ = 15 | Sv efficace = 31,00 | |
| H ₁ = 5 | H ₂ = 15 | H ₃ = infinito | Sv totale = 65,50 | |
| S ₁ = 5 | S ₂ = 10 | S ₃ = infinito | Berezantzev | |
| L _{u,1} = 5 | L _{u,2} = 10 | L _{u,3} = 13 | L/D=Lu/d.p. = 530,56 | |
| parametri terreno | | | L/D=4 = 517,79 | |
| condizioni = 0 | condizioni = 0 | condizioni = 0 | L/D=32 = 536,29 | |
| g ₁ = 1,9 | g ₂ = 2,00 | g ₃ = 2,0 | fattori adimensionali | |
| f ₁ = 0 | f ₂ = 0 | f ₃ = 0 | N _q = 0,0 | |
| c ₁ = 0,0 | c ₂ = 0,0 | c ₃ = 0,0 | N _c = 0,0 | |
| K ₁ = 0,5 | K ₂ = 0,5 | K ₃ = 0,5 | N _{c,u} = 9,0 | |
| c _{u,1} = 5,0 | c _{u,2} = 10,0 | c _{u,3} = 25,0 | resistenza alla punta | |
| q _{a,1} = 4,0 | q _{a,2} = 4,0 | q _{a,3} = 10,0 | Q _{p,d} = 0,00 | |
| q _{a,1,max} = 4,0 | q _{a,2,max} = 4,0 | q _{a,3,max} = 10,0 | Q _{p,u} = 328,55 | |
| resistenza laterale | | | Q _p = 328,55 | |
| p*k*tan f ₁ = 0,00 | p*k*tan f ₂ = 0,00 | p*k*tan f ₃ = 0,00 | | |
| Sg _z = 22,63 | Sg _z = 130,00 | Sg _z = 318,50 | | |
| Qs.1 = 75,40 | Qs.2 = 150,80 | Qs.3 = 490,09 | | |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | Geometria del palo |
|---------------|---------------|----------------|--------------------|
| H.0 = 0,0 | H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | d.p = 1,2 |
| H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | H.3 = infinito | t.p = 0,0 |
| S.1 = 5,0 | S.2 = 10,0 | S.3 = infinito | St = 28,0 |
| Lu.1 = 5,0 | Lu.2 = 10,0 | Lu.3 = 13,0 | Lu = 28,0 |
| g1 = 1,9 | g2 = 2,00 | g3 = 2,0 | W' = 19,0 |
| f1 = 0 | f2 = 0 | f3 = 0 | |
| c1 = 0,0 | c2 = 0,0 | c3 = 0,0 | |
| cu.1 = 5,0 | cu.2 = 10,0 | cu.3 = 25,0 | |
| qa1.max = 4,0 | qa2.max = 4,0 | qa3.max = 10,0 | |
| K1 = 0,5 | K2 = 0,5 | K3 = 0,5 | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

Q_{lim} = SQ_{s,i} + Q_p = 1044,83

tensioni alla base del palo

resistenza laterale

Sv efficace = 31,00 Qs.1 = 75,40

Sv totale = 65,50 Qs.2 = 150,80

fattori adimensionali Qs.3 = 490,09

Nq Berezantzev = 0,0 ΣQ_{s,i} = 716,28

Nc = 0,0 resistenza alla punta

Nc,u = 9,0 Q_p = 328,55

carico ammissibile

Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 417,93

carico agente

Q_{ag} = 414,90

coefficiente di sicurezza

F_{stot} = (Q_{lim}-W')/Q_{ag} = 2,47

F_{slat} = (Q_s-W')/Q_{ag} = 1,68

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto S. Bartolomeo 1. Pila 2. Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | | convenzione | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------|-------------|------------------------|---|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,20 | condizioni drenate | 1 |
| profondità punta palo | S _t | 30 | perimetro | p.p | 3,77 | condizioni non drenate | 0 |
| lunghezza utile palo | L _u | 30 | area | a.p | 1,13 | unità di misura [t,m] | |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | 25,00 | | | |

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 3 | | Parametri di output | |
|--------------------------------|-------|--------------------------------|--------|--------------------------------|----------|-----------------------|--------|
| H ₀ | 0 | H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | Sv efficace | 33,00 |
| H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | H ₃ | infinito | Sv totale | 69,50 |
| S ₁ | 5 | S ₂ | 10 | S ₃ | infinito | Berezantzev | |
| L _{u.1} | 5 | L _{u.2} | 10 | L _{u.3} | 15 | L/D=Lu/d.p. | 531,67 |
| parametri terreno | | parametri terreno | | parametri terreno | | L/D=4 | 517,79 |
| condizioni | 0 | condizioni | 0 | condizioni | 0 | L/D=32 | 536,29 |
| g ₁ | 1,9 | g ₂ | 2,00 | g ₃ | 2,0 | fattori adimensionali | |
| f ₁ | 0 | f ₂ | 0 | f ₃ | 0 | N _q | 0,0 |
| c ₁ | 0,0 | c ₂ | 0,0 | c ₃ | 0,0 | N _c | 0,0 |
| K ₁ | 0,5 | K ₂ | 0,5 | K ₃ | 0,5 | N _{c,u} | 9,0 |
| c _{u.1} | 5,0 | c _{u.2} | 10,0 | c _{u.3} | 25,0 | resistenza alla punta | |
| q _{a.1} | 4,0 | q _{a.2} | 4,0 | q _{a.3} | 10,0 | Q _{p,d} | 0,00 |
| q _{a.1max} | 4,0 | q _{a.2max} | 4,0 | q _{a.3max} | 10,0 | Q _{p,u} | 333,07 |
| resistenza laterale | | resistenza laterale | | resistenza laterale | | Q _p | 333,07 |
| p*k*tan f ₁ | 0,00 | p*k*tan f ₂ | 0,00 | p*k*tan f ₃ | 0,00 | | |
| Sg _i z _i | 22,63 | Sg _i z _i | 130,00 | Sg _i z _i | 382,50 | | |
| Qs.1 | 75,40 | Qs.2 | 150,80 | Qs.3 | 565,49 | | |

Dati di input

| <u>Parametri del terreno</u> | | | <u>Geometria del palo</u> | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | | |
| H ₀ = 0,0 | H ₁ = 5,0 | H ₂ = 15,0 | d.p = 1,2 | |
| H ₁ = 5,0 | H ₂ = 15,0 | H ₃ = infinito | t.p = 0,0 | |
| S ₁ = 5,0 | S ₂ = 10,0 | S ₃ = infinito | S _t = 30,0 | |
| L _{u.1} = 5,0 | L _{u.2} = 10,0 | L _{u.3} = 15,0 | L _u = 30,0 | |
| g ₁ = 1,9 | g ₂ = 2,00 | g ₃ = 2,0 | W' = 20,4 | |
| f ₁ = 0 | f ₂ = 0 | f ₃ = 0 | | |
| c ₁ = 0,0 | c ₂ = 0,0 | c ₃ = 0,0 | | |
| c _{u.1} = 5,0 | c _{u.2} = 10,0 | c _{u.3} = 25,0 | | |
| q _{a1.max} = 4,0 | q _{a2.max} = 4,0 | q _{a3.max} = 10,0 | | |
| K ₁ = 0,5 | K ₂ = 0,5 | K ₃ = 0,5 | | |

Calcolo del carico limite del palo

| | | | |
|------------------------------------|------------------------------|---|---|
| | | <u>carico limite</u> | |
| | | Q _{lim} = SQ _{s,i} + Q _p | = 1124,75 |
| <u>tensioni alla base del palo</u> | | <u>carico ammissibile</u> | |
| Sv efficace = 33,00 | Qs.1 = 75,40 | Q _{amm} = Q _{lim} / 2.5 | = 449,90 |
| Sv totale = 69,50 | Qs.2 = 150,80 | <u>carico agente</u> | |
| <u>fattori adimensionali</u> | | Q _{ag} | 436,40 |
| N _q Berezantzev = 0,0 | ΣQ _{s,i} = 791,68 | <u>coefficiente di sicurezza</u> | |
| N _c = 0,0 | <u>resistenza alla punta</u> | | F _{stot} = (Q _{lim} -W')/Q _{ag} = 2,53 |
| N _{c,u} = 9,0 | Q _p = 333,07 | F _{slat} = (Q _s -W')/Q _{ag} = 1,77 | |

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto San Bartolomeo . Pila 3. Pali 1500 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|----------|
| profondità testa palo | t.p | 1 | diametro | d.p 1,50 |
| profondità punta palo | S _t | 30 | perimetro | p.p 4,71 |
| lunghezza utile palo | L _u | 29 | area | a.p 1,77 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | 19,33 |

| convenzione | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | |
|-----------------------|-------|
| H ₀ | 0 |
| H ₁ | 5 |
| S ₁ | 5 |
| L _{u.1} | 4 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₁ | 1,9 |
| f ₁ | 0 |
| c ₁ | 0,0 |
| K ₁ | 0,5 |
| c _{u.1} | 5,0 |
| q _{a.1} | 4,0 |
| q _{a.1max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₁ | 0,00 |
| Sg _z | 21,68 |
| Qs.1 | 75,40 |

| Strato 2 | |
|-----------------------|--------|
| H ₁ | 5 |
| H ₂ | 15 |
| S ₂ | 10 |
| L _{u.2} | 10 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₂ | 2,00 |
| f ₂ | 0 |
| c ₂ | 0,0 |
| K ₂ | 0,5 |
| c _{u.2} | 10,0 |
| q _{a.2} | 4,0 |
| q _{a.2max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₂ | 0,00 |
| Sg _z | 130,00 |
| Qs.2 | 188,50 |

| Strato 3 | |
|-----------------------|----------|
| H ₂ | 15 |
| H ₃ | infinito |
| S ₃ | infinito |
| L _{u.3} | 15 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₃ | 2,0 |
| f ₃ | 0 |
| c ₃ | 0,0 |
| K ₃ | 0,5 |
| c _{u.3} | 25,0 |
| q _{a.3} | 10,0 |
| q _{a.3max} | 10,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₃ | 0,00 |
| Sg _z | 382,50 |
| Qs.3 | 706,86 |

| Parametri di output | |
|-----------------------|--------|
| Sv efficace | 33,00 |
| Sv totale | 69,50 |
| Berezantzev | |
| L/D=Lu/d.p. | 527,92 |
| L/D=4 | 517,79 |
| L/D=32 | 536,29 |
| fattori adimensionali | |
| N _q | 0,0 |
| N _c | 0,0 |
| N _{c.u} | 9,0 |
| resistenza alla punta | |
| Qp _d | 0,00 |
| Qp _u | 520,42 |
| Qp | 520,42 |

Dati di input

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 2 | | Geometria del palo | |
|----------|-------|----------|--------|----------|------------|--------------------|--------|
| H.0 | = 0,0 | H.1 | = 5,0 | H.2 | = 15,0 | d.p | = 1,5 |
| H.1 | = 5,0 | H.2 | = 15,0 | H.3 | = infinito | t.p | = 1,0 |
| S.1 | = 5,0 | S.2 | = 10,0 | S.3 | = infinito | S _t | = 30,0 |
| Lu.1 | = 4,0 | Lu.2 | = 10,0 | Lu.3 | = 15,0 | L _u | = 29,0 |
| g1 | = 1,9 | g2 | = 2,00 | g3 | = 2,0 | W' | = 30,7 |
| f1 | = 0 | f2 | = 0 | f3 | = 0 | | |
| c1 | = 0,0 | c2 | = 0,0 | c3 | = 0,0 | | |
| cu.1 | = 5,0 | cu.2 | = 10,0 | cu.3 | = 25,0 | | |
| qa1.max | = 4,0 | qa2.max | = 4,0 | qa3.max | = 10,0 | | |
| K1 | = 0,5 | K2 | = 0,5 | K3 | = 0,5 | | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

$$Q_{lim} = \sum Q_{s,i} + Q_p = 1491,18$$

tensioni alla base del palo

$$Sv \text{ efficace} = 33,00$$

$$Sv \text{ totale} = 69,50$$

resistenza laterale

$$Q_{s.1} = 75,40$$

$$Q_{s.2} = 188,50$$

$$Q_{s.3} = 706,86$$

$$\sum Q_{s,i} = 970,75$$

carico ammissibile

$$Q_{amm} = Q_{lim} / 2,5 = 596,47$$

carico agente

$$Q_{ag} = 574,90$$

coefficiente di sicurezza

$$F_{tot} = (Q_{lim} - W') / Q_{ag} = 2,54$$

$$F_{slat} = (Q_s - W') / Q_{ag} = 1,64$$

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto Bartolomeo 1. Pila 4. Pali 1500 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | convenzione | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------------|-------|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,50 |
| profondità punta palo | S _t | 28 | perimetro | p.p | 4,71 |
| lunghezza utile palo | L _u | 28 | area | a.p | 1,77 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | | 18,67 |

| | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 3 | | Parametri di output | |
|------------------------|-------|------------------------|--------|------------------------|----------|-----------------------|--------|
| H ₀ | 0 | H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | Sv efficace | 31,00 |
| H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | H ₃ | infinito | Sv totale | 65,50 |
| S ₁ | 5 | S ₂ | 10 | S ₃ | infinito | Berezantzev | |
| L _{u1} | 5 | L _{u2} | 10 | L _{u3} | 13 | L/D=Lu/d.p. | 527,48 |
| parametri terreno | | parametri terreno | | parametri terreno | | L/D=4 | 517,79 |
| condizioni | 0 | condizioni | 0 | condizioni | 0 | L/D=32 | 536,29 |
| g ₁ | 1,9 | g ₂ | 2,00 | g ₃ | 2,0 | fattori adimensionali | |
| f ₁ | 0 | f ₂ | 0 | f ₃ | 0 | N _q | 0,0 |
| c ₁ | 0,0 | c ₂ | 0,0 | c ₃ | 0,0 | N _c | 0,0 |
| K ₁ | 0,5 | K ₂ | 0,5 | K ₃ | 0,5 | N _{c.u} | 9,0 |
| c _{u1} | 5,0 | c _{u2} | 10,0 | c _{u3} | 25,0 | resistenza alla punta | |
| q _{a1} | 4,0 | q _{a2} | 4,0 | q _{a3} | 10,0 | Q _{pd} | 0,00 |
| q _{a1max} | 4,0 | q _{a2max} | 4,0 | q _{a3max} | 10,0 | Q _{pu} | 513,36 |
| resistenza laterale | | resistenza laterale | | resistenza laterale | | Q _p | 513,36 |
| p*k*tan f ₁ | 0,00 | p*k*tan f ₂ | 0,00 | p*k*tan f ₃ | 0,00 | | |
| Sg _{zi} | 22,63 | Sg _{zi} | 130,00 | Sg _{zi} | 318,50 | | |
| Qs.1 | 94,25 | Qs.2 | 188,50 | Qs.3 | 612,61 | | |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 2 | | Geometria del palo | |
|---------------------|-------|---------------------|--------|---------------------|------------|--------------------|--------|
| H ₀ | = 0,0 | H ₁ | = 5,0 | H ₂ | = 15,0 | d.p | = 1,5 |
| H ₁ | = 5,0 | H ₂ | = 15,0 | H ₃ | = infinito | t.p | = 0,0 |
| S ₁ | = 5,0 | S ₂ | = 10,0 | S ₃ | = infinito | S _t | = 28,0 |
| L _{u1} | = 5,0 | L _{u2} | = 10,0 | L _{u3} | = 13,0 | L _u | = 28,0 |
| g ₁ | = 1,9 | g ₂ | = 2,00 | g ₃ | = 2,0 | W' | = 29,7 |
| f ₁ | = 0 | f ₂ | = 0 | f ₃ | = 0 | | |
| c ₁ | = 0,0 | c ₂ | = 0,0 | c ₃ | = 0,0 | | |
| c _{u1} | = 5,0 | c _{u2} | = 10,0 | c _{u3} | = 25,0 | | |
| q _{a1.max} | = 4,0 | q _{a2.max} | = 4,0 | q _{a3.max} | = 10,0 | | |
| K ₁ | = 0,5 | K ₂ | = 0,5 | K ₃ | = 0,5 | | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

$$Q_{lim} = \sum Q_{s,i} + Q_p = 1408,71$$

tensioni alla base del palo

| | | | |
|------------------------------|---------|------------------------------|----------|
| sv efficace | = 31,00 | Qs.1 | = 94,25 |
| sv totale | = 65,50 | Qs.2 | = 188,50 |
| <u>fattori adimensionali</u> | | Qs.3 | = 612,61 |
| N _q Berezantzev | 0,0 | ΣQ _{s,i} | = 895,35 |
| N _c | = 0,0 | <u>resistenza alla punta</u> | |
| N _{c.u} | = 9,0 | Q _p | = 513,36 |

carico ammissibile

$$Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 563,48$$

carico agente

$$Q_{ag} = 551,30$$

coefficiente di sicurezza

$$F_{stot} = (Q_{lim} - W') / Q_{ag} = 2,50$$

$$F_{slat} = (Q_s - W') / Q_{ag} = 1,57$$

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto Bartolomeo 1. Pila 5. Pali 1500 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | convenzione | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------------|-------|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,50 |
| profondità punta palo | S _t | 24 | perimetro | p.p | 4,71 |
| lunghezza utile palo | L _u | 24 | area | a.p | 1,77 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | | 16,00 |

| | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 | Parametri di output |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| H ₀ 0 | H ₁ 5 | H ₂ 15 | Sv efficace 27,00 |
| H ₁ 5 | H ₂ 15 | H ₃ infinito | Sv totale 57,50 |
| S ₁ 5 | S ₂ 10 | S ₃ infinito | Berezantzev |
| L _{u,1} 5 | L _{u,2} 10 | L _{u,3} 9 | L/D=Lu/d.p. 525,72 |
| parametri terreno | parametri terreno | parametri terreno | L/D=4 517,79 |
| condizioni 0 | condizioni 0 | condizioni 0 | L/D=32 536,29 |
| g ₁ 1,9 | g ₂ 2,00 | g ₃ 2,0 | fattori adimensionali |
| f ₁ 0 | f ₂ 0 | f ₃ 0 | N _q 0,0 |
| c ₁ 0,0 | c ₂ 0,0 | c ₃ 0,0 | N _c 0,0 |
| K ₁ 0,5 | K ₂ 0,5 | K ₃ 0,5 | N _{c,u} 9,0 |
| c _{u,1} 5,0 | c _{u,2} 10,0 | c _{u,3} 25,0 | resistenza alla punta |
| q _{a,1} 4,0 | q _{a,2} 4,0 | q _{a,3} 10,0 | Q _{p,d} 0,00 |
| q _{a,1,max} 4,0 | q _{a,2,max} 4,0 | q _{a,3,max} 10,0 | Q _{p,u} 499,22 |
| resistenza laterale | resistenza laterale | resistenza laterale | Q _p 499,22 |
| p*k*tanf ₁ 0,00 | p*k*tanf ₂ 0,00 | p*k*tanf ₃ 0,00 | |
| Sg _{z_i} 22,63 | Sg _{z_i} 130,00 | Sg _{z_i} 202,50 | |
| Qs.1 94,25 | Qs.2 188,50 | Qs.3 424,12 | |

Dati di input

| <u>Parametri del terreno</u> | | | <u>Geometria del palo</u> | |
|------------------------------|---------------|----------------|---------------------------|--|
| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | | |
| H.0 = 0,0 | H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | d.p = 1,5 | |
| H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | H.3 = infinito | t.p = 0,0 | |
| S.1 = 5,0 | S.2 = 10,0 | S.3 = infinito | St = 24,0 | |
| Lu.1 = 5,0 | Lu.2 = 10,0 | Lu.3 = 9,0 | Lu = 24,0 | |
| g1 = 1,9 | g2 = 2,00 | g3 = 2,0 | W' = 25,4 | |
| f1 = 0 | f2 = 0 | f3 = 0 | | |
| c1 = 0,0 | c2 = 0,0 | c3 = 0,0 | | |
| cu.1 = 5,0 | cu.2 = 10,0 | cu.3 = 25,0 | | |
| qa1.max = 4,0 | qa2.max = 4,0 | qa3.max = 10,0 | | |
| K1 = 0,5 | K2 = 0,5 | K3 = 0,5 | | |

Calcolo del carico limite del palo

| | | |
|------------------------------------|------------------------------|---|
| <u>carico limite</u> | | Q _{lim} = SQ _{s,i} + Q _p = 1206,08 |
| <u>tensioni alla base del palo</u> | <u>resistenza laterale</u> | <u>carico ammissibile</u> |
| Sv efficace = 27,00 | Qs.1 = 94,25 | Q _{amm} = Q _{lim} / 2,5 = 482,43 |
| Sv totale = 57,50 | Qs.2 = 188,50 | <u>carico agente</u> |
| <u>fattori adimensionali</u> | Qs.3 = 424,12 | Q _{ag} 438,70 |
| Nq Berezantzev 0,0 | ΣQs,i = 706,86 | <u>coefficiente di sicurezza</u> |
| Nc = 0,0 | <u>resistenza alla punta</u> | F _{stot} = (Q _{lim} -W')/Q _{ag} = 2,69 |
| Nc.u = 9,0 | Q _p = 499,22 | F _{slat} = (Q _s -W')/Q _{ag} = 1,55 |

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto Bartolomeo 1. Pila 6. Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | | convenzione | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------|-------------|------------------------|---|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,20 | condizioni drenate | 1 |
| profondità punta palo | S _t | 30 | perimetro | p.p | 3,77 | condizioni non drenate | 0 |
| lunghezza utile palo | L _u | 30 | area | a.p | 1,13 | unità di misura [t,m] | |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | 25,00 | | | |

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 3 | | Parametri di output | |
|-----------------------------|-------|-----------------------------|--------|-----------------------------|----------|-----------------------|--------|
| H.0 | 0 | H.1 | 5 | H.2 | 15 | Sv efficace | 33,00 |
| H.1 | 5 | H.2 | 15 | H.3 | infinito | Sv totale | 69,50 |
| S.1 | 5 | S.2 | 10 | S.3 | infinito | Berezantzev | |
| L _{u.1} | 5 | L _{u.2} | 10 | L _{u.3} | 15 | L/D=Lu/d.p. | 531,67 |
| parametri terreno | | parametri terreno | | parametri terreno | | L/D=4 | 517,79 |
| condizioni | 0 | condizioni | 0 | condizioni | 0 | L/D=32 | 536,29 |
| g _{.1} | 1,9 | g _{.2} | 2,00 | g _{.3} | 2,0 | fattori adimensionali | |
| f _{.1} | 0 | f _{.2} | 0 | f _{.3} | 0 | N _q | 0,0 |
| c _{.1} | 0,0 | c _{.2} | 0,0 | c _{.3} | 0,0 | N _c | 0,0 |
| K _{.1} | 0,5 | K _{.2} | 0,5 | K _{.3} | 0,5 | N _{c.u} | 9,0 |
| c _{u.1} | 5,0 | c _{u.2} | 10,0 | c _{u.3} | 25,0 | resistenza alla punta | |
| q _{a.1} | 4,0 | q _{a.2} | 4,0 | q _{a.3} | 10,0 | Q _{p.d} | 0,00 |
| q _{a.1max} | 4,0 | q _{a.2max} | 4,0 | q _{a.3max} | 10,0 | Q _{p.u} | 333,07 |
| resistenza laterale | | resistenza laterale | | resistenza laterale | | Q _p | 333,07 |
| p*k*tanf _{.1} | 0,00 | p*k*tanf _{.2} | 0,00 | p*k*tanf _{.3} | 0,00 | | |
| Sg _{z_i} | 22,63 | Sg _{z_i} | 130,00 | Sg _{z_i} | 382,50 | | |
| Qs.1 | 75,40 | Qs.2 | 150,80 | Qs.3 | 565,49 | | |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | Strato 3 | Geometria del palo |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| H.0 = 0,0 | H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | H.3 = infinito | d.p = 1,2 |
| H.1 = 5,0 | H.2 = 15,0 | H.3 = infinito | S.3 = infinito | t.p = 0,0 |
| S.1 = 5,0 | S.2 = 10,0 | S.3 = infinito | L _{u.3} = 15,0 | St = 30,0 |
| L _{u.1} = 5,0 | L _{u.2} = 10,0 | L _{u.3} = 15,0 | g ₃ = 2,0 | Lu = 30,0 |
| g ₁ = 1,9 | g ₂ = 2,00 | g ₃ = 2,0 | f ₃ = 0 | W' = 20,4 |
| f ₁ = 0 | f ₂ = 0 | f ₃ = 0 | c ₃ = 0,0 | |
| c ₁ = 0,0 | c ₂ = 0,0 | c ₃ = 0,0 | c _{u.3} = 25,0 | |
| c _{u.1} = 5,0 | c _{u.2} = 10,0 | c _{u.3} = 25,0 | q _{a.3max} = 10,0 | |
| q _{a.1max} = 4,0 | q _{a.2max} = 4,0 | q _{a.3max} = 10,0 | K ₃ = 0,5 | |
| K ₁ = 0,5 | K ₂ = 0,5 | K ₃ = 0,5 | | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

Q_{lim} = S_{Qs.i} + Q_p = 1124,75

tensioni alla base del palo

resistenza laterale

carico ammissibile

Sv efficace = 33,00 Qs.1 = 75,40

Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 449,90

Sv totale = 69,50 Qs.2 = 150,80

carico agente

fattori adimensionali Qs.3 = 565,49

Q_{ag} = 440,20

N_q Berezantzev 0,0 ΣQs.i = 791,68

coefficiente di sicurezza

N_c = 0,0 resistenza alla punta

F_{stot} = (Q_{lim}-W')/Q_{ag} = 2,51

N_{c.u} = 9,0 Q_p = 333,07

F_{stat} = (Q_s-W')/Q_{ag} = 1,75

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto Bartolomeo 1. Pila 7. Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | convenzione | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------------|-------|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1,20 |
| profondità punta palo | S _t | 28 | perimetro | p.p | 3,77 |
| lunghezza utile palo | L _u | 28 | area | a.p | 1,13 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | | 23,33 |

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 | Parametri di output |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| H ₀ = 0 | H ₁ = 5 | H ₂ = 15 | Sv efficace = 31,00 |
| H ₁ = 5 | H ₂ = 15 | H ₃ = infinito | Sv totale = 65,50 |
| S ₁ = 5 | S ₂ = 10 | S ₃ = infinito | Berezantzev |
| L _{u,1} = 5 | L _{u,2} = 10 | L _{u,3} = 13 | L/D=Lu/d.p. = 530,56 |
| parametri terreno | parametri terreno | parametri terreno | L/D=4 = 517,79 |
| condizioni = 0 | condizioni = 0 | condizioni = 0 | L/D=32 = 536,29 |
| g ₁ = 1,9 | g ₂ = 2,00 | g ₃ = 2,0 | fattori adimensionali |
| f ₁ = 0 | f ₂ = 0 | f ₃ = 0 | N _q = 0,0 |
| c ₁ = 0,0 | c ₂ = 0,0 | c ₃ = 0,0 | N _c = 0,0 |
| K ₁ = 0,5 | K ₂ = 0,5 | K ₃ = 0,5 | N _{c,u} = 9,0 |
| c _{u,1} = 5,0 | c _{u,2} = 10,0 | c _{u,3} = 25,0 | resistenza alla punta |
| q _{a,1} = 4,0 | q _{a,2} = 4,0 | q _{a,3} = 10,0 | Q _{p,d} = 0,00 |
| q _{a,1,max} = 4,0 | q _{a,2,max} = 4,0 | q _{a,3,max} = 10,0 | Q _{p,u} = 328,55 |
| resistenza laterale | resistenza laterale | resistenza laterale | Q _p = 328,55 |
| p*k*tanf ₁ = 0,00 | p*k*tanf ₂ = 0,00 | p*k*tanf ₃ = 0,00 | |
| Sg _{z_i} = 22,63 | Sg _{z_i} = 130,00 | Sg _{z_i} = 318,50 | |
| Qs.1 = 75,40 | Qs.2 = 150,80 | Qs.3 = 490,09 | |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | Geometria del palo |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| H ₀ = 0,0 | H ₁ = 5,0 | H ₂ = 15,0 | d.p = 1,2 |
| H ₁ = 5,0 | H ₂ = 15,0 | H ₃ = infinito | t.p = 0,0 |
| S ₁ = 5,0 | S ₂ = 10,0 | S ₃ = infinito | S _t = 28,0 |
| L _{u,1} = 5,0 | L _{u,2} = 10,0 | L _{u,3} = 13,0 | L _u = 28,0 |
| g ₁ = 1,9 | g ₂ = 2,00 | g ₃ = 2,0 | W' = 19,0 |
| f ₁ = 0 | f ₂ = 0 | f ₃ = 0 | |
| c ₁ = 0,0 | c ₂ = 0,0 | c ₃ = 0,0 | |
| c _{u,1} = 5,0 | c _{u,2} = 10,0 | c _{u,3} = 25,0 | |
| q _{a,1,max} = 4,0 | q _{a,2,max} = 4,0 | q _{a,3,max} = 10,0 | |
| K ₁ = 0,5 | K ₂ = 0,5 | K ₃ = 0,5 | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

Q_{lim} = SQ_{s,i} + Q_p = 1044,83

tensioni alla base del palo

resistenza laterale

carico ammissibile

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| sv efficace = 31,00 | Qs.1 = 75,40 |
| sv totale = 65,50 | Qs.2 = 150,80 |
| <u>fattori adimensionali</u> | Qs.3 = 490,09 |
| N _q Berezantzev = 0,0 | ΣQ _{s,i} = 716,28 |
| N _c = 0,0 | <u>resistenza alla punta</u> |
| N _{c,u} = 9,0 | Q _p = 328,55 |

Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 417,93

carico agente

Q_{ag} = 400,40

coefficiente di sicurezza

F_{stot} = (Q_{lim}-W')/Q_{ag} = 2,56

F_{slat} = (Q_s-W')/Q_{ag} = 1,74

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto San Bartolomeo 1 Spalla A Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-----|-------|
| profondità testa palo | t.p | 1 | diametro | d.p | 1,20 |
| profondità punta palo | S _t | 26 | perimetro | p.p | 3,77 |
| lunghezza utile palo | L _u | 25 | area | a.p | 1,13 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | | 20,83 |

| convenzione | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | |
|-----------------------------|-------|
| H ₀ | 0 |
| H ₁ | 5 |
| S ₁ | 5 |
| L _{u.1} | 4 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g _{.1} | 1,9 |
| f _{.1} | 0 |
| c _{.1} | 0,0 |
| K _{.1} | 0,5 |
| c _{u.1} | 5,0 |
| q _{a.1} | 4,0 |
| q _{a.1max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanf _{.1} | 0,00 |
| Sg _{z_i} | 21,68 |
| Qs.1 | 60,32 |

| Strato 2 | |
|-----------------------------|--------|
| H ₁ | 5 |
| H ₂ | 15 |
| S ₂ | 10 |
| L _{u.2} | 10 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g _{.2} | 2,00 |
| f _{.2} | 0 |
| c _{.2} | 0,0 |
| K _{.2} | 0,5 |
| c _{u.2} | 10,0 |
| q _{a.2} | 4,0 |
| q _{a.2max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanf _{.2} | 0,00 |
| Sg _{z_i} | 130,00 |
| Qs.2 | 150,80 |

| Strato 3 | |
|-----------------------------|----------|
| H ₂ | 15 |
| H ₃ | infinito |
| S ₃ | infinito |
| L _{u.3} | 11 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g _{.3} | 2,0 |
| f _{.3} | 0 |
| c _{.3} | 0,0 |
| K _{.3} | 0,5 |
| c _{u.3} | 25,0 |
| q _{a.3} | 10,0 |
| q _{a.3max} | 10,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanf ₃ | 0,00 |
| Sg _{z_i} | 258,50 |
| Qs.3 | 414,69 |

| Parametri di output | |
|----------------------------|--------|
| Sv efficace | 29,00 |
| Sv totale | 61,50 |
| Berezantzev | |
| L/D=Lu/d.p. | 528,91 |
| L/D=4 | 517,79 |
| L/D=32 | 536,29 |
| fattori adimensionali | |
| N _q | 0,0 |
| N _c | 0,0 |
| N _{c.u} | 9,0 |
| resistenza alla punta | |
| Q _{p_d} | 0,00 |
| Q _{p_u} | 324,02 |
| Q _p | 324,02 |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | |
|---------------------|-------|
| H ₀ | = 0,0 |
| H ₁ | = 5,0 |
| S ₁ | = 5,0 |
| L _{u.1} | = 4,0 |
| g ₁ | = 1,9 |
| f ₁ | = 0 |
| c ₁ | = 0,0 |
| c _{u.1} | = 5,0 |
| q _{a1.max} | = 4,0 |
| K ₁ | = 0,5 |

| Strato 2 | |
|---------------------|--------|
| H ₁ | = 5,0 |
| H ₂ | = 15,0 |
| S ₂ | = 10,0 |
| L _{u.2} | = 10,0 |
| g ₂ | = 2,00 |
| f ₂ | = 0 |
| c ₂ | = 0,0 |
| c _{u.2} | = 10,0 |
| q _{a2.max} | = 4,0 |
| K ₂ | = 0,5 |

| Strato 2 | |
|---------------------|------------|
| H ₂ | = 15,0 |
| H ₃ | = infinito |
| S ₃ | = infinito |
| L _{u.3} | = 11,0 |
| g ₃ | = 2,0 |
| f ₃ | = 0 |
| c ₃ | = 0,0 |
| c _{u.3} | = 25,0 |
| q _{a3.max} | = 10,0 |
| K ₃ | = 0,5 |

Geometria del palo

| | |
|----------------|--------|
| d.p | = 1,2 |
| t.p | = 1,0 |
| S _t | = 26,0 |
| L _u | = 25,0 |
| W' | = 17,0 |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

$$Q_{lim} = \sum Q_{s.i} + Q_p = 949,83$$

tensioni alla base del palo

| | |
|-------------|---------|
| sv efficace | = 29,00 |
| sv totale | = 61,50 |

resistenza laterale

| | |
|-------|----------|
| Qs.1 | = 60,32 |
| Qs.2 | = 150,80 |
| Qs.3 | = 414,69 |
| ΣQs.i | = 625,81 |

carico ammissibile

$$Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 379,93$$

fattori adimensionali

| | |
|----------------------------|-------|
| N _q Berezantzev | = 0,0 |
| N _c | = 0,0 |
| N _{c.u} | = 9,0 |

resistenza alla punta

$$Q_p = 324,02$$

carico agente

$$Q_{ag} = 360,60$$

coefficiente di sicurezza

$$F_{stot} = (Q_{lim} - W') / Q_{ag} = 2,59$$

$$F_{slat} = (Q_s - W') / Q_{ag} = 1,69$$

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto San Bartolomeo 1Spalla B Pali 1200 mm

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|----------|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p 1,20 |
| profondità punta palo | S _t | 18 | perimetro | p.p 3,77 |
| lunghezza utile palo | L _u | 18 | area | a.p 1,13 |
| profondità falda | H _f | 3,5 | L _u /d.p. | 15,00 |

| convenzione | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | |
|------------------------|-------|
| H ₀ | 0 |
| H ₁ | 5 |
| S ₁ | 5 |
| L _{u,1} | 5 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₁ | 1,9 |
| f ₁ | 0 |
| c ₁ | 0,0 |
| K ₁ | 0,5 |
| c _{u,1} | 5,0 |
| q _{a,1} | 4,0 |
| q _{a,1max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tan f ₁ | 0,00 |
| Sg _z | 22,63 |
| Qs.1 | 75,40 |

| Strato 2 | |
|------------------------|--------|
| H ₁ | 5 |
| H ₂ | 15 |
| S ₂ | 10 |
| L _{u,2} | 10 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₂ | 2,00 |
| f ₂ | 0 |
| c ₂ | 0,0 |
| K ₂ | 0,5 |
| c _{u,2} | 10,0 |
| q _{a,2} | 4,0 |
| q _{a,2max} | 4,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tan f ₂ | 0,00 |
| Sg _z | 130,00 |
| Qs.2 | 150,80 |

| Strato 3 | |
|------------------------|----------|
| H ₂ | 15 |
| H ₃ | infinito |
| S ₃ | infinito |
| L _{u,3} | 3 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₃ | 2,0 |
| f ₃ | 0 |
| c ₃ | 0,0 |
| K ₃ | 0,5 |
| c _{u,3} | 25,0 |
| q _{a,3} | 10,0 |
| q _{a,3max} | 10,0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tan f ₃ | 0,00 |
| Sg _z | 58,50 |
| Qs.3 | 113,10 |

| Parametri di output | |
|-----------------------|--------|
| Sv efficace | 21,00 |
| Sv totale | 45,50 |
| Berezantzev | |
| L/D=Lu/d.p. | 525,06 |
| L/D=4 | 517,79 |
| L/D=32 | 536,29 |
| fattori adimensionali | |
| N _q | 0,0 |
| N _c | 0,0 |
| N _{c,u} | 9,0 |
| resistenza alla punta | |
| Q _{p,d} | 0,00 |
| Q _{p,u} | 305,93 |
| Q _p | 305,93 |

Dati di input

Parametri del terreno

| Strato 1 | |
|----------|-------|
| H.0 | = 0,0 |
| H.1 | = 5,0 |
| S.1 | = 5,0 |
| Lu.1 | = 5,0 |
| g1 | = 1,9 |
| f1 | = 0 |
| c1 | = 0,0 |
| cu.1 | = 5,0 |
| qa1.max | = 4,0 |
| K1 | = 0,5 |

| Strato 2 | |
|----------|--------|
| H.1 | = 5,0 |
| H.2 | = 15,0 |
| S.2 | = 10,0 |
| Lu.2 | = 10,0 |
| g2 | = 2,00 |
| f2 | = 0 |
| c2 | = 0,0 |
| cu.2 | = 10,0 |
| qa2.max | = 4,0 |
| K2 | = 0,5 |

| Strato 2 | |
|----------|------------|
| H.2 | = 15,0 |
| H.3 | = infinito |
| S.3 | = infinito |
| Lu.3 | = 3,0 |
| g3 | = 2,0 |
| f3 | = 0 |
| c3 | = 0,0 |
| cu.3 | = 25,0 |
| qa3.max | = 10,0 |
| K3 | = 0,5 |

| Geometria del palo | |
|--------------------|--------|
| d.p | = 1,2 |
| t.p | = 0,0 |
| St | = 18,0 |
| Lu | = 18,0 |
| W' | = 12,2 |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

$Q_{lim} = \sum Q_{s,i} + Q_p = 645,22$

tensioni alla base del palo

sv efficace = 21,00
 sv totale = 45,50

resistenza laterale

Qs.1 = 75,40
 Qs.2 = 150,80
 Qs.3 = 113,10
 $\sum Q_{s,i} = 339,29$

carico ammissibile

$Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 258,09$

carico agente

Q_{ag} = 198,60

coefficiente di sicurezza

$F_{stot} = (Q_{lim} - W') / Q_{ag} = 3,19$

$F_{slat} = (Q_s - W') / Q_{ag} = 1,65$

resistenza alla punta

Q_p = 305,93

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto S. Bartolomeo 1. Pila 6. Pali 1200 mm VERIFICA agli S.L.U.

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | | convenzione | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|-------|-------------|------------------------|---|
| profondità testa palo | t.p | 0 | diametro | d.p | 1.20 | condizioni drenate | 1 |
| profondità punta palo | S _t | 30 | perimetro | p.p | 3.77 | condizioni non drenate | 0 |
| lunghezza utile palo | L _u | 30 | area | a.p | 1.13 | unità di misura [t,m] | |
| profondità falda | H _f | 3.5 | L _u /d.p. | 25.00 | | | |

| Strato 1 | | Strato 2 | | Strato 3 | | Parametri di output | |
|-----------------------------|-------|-----------------------------|--------|-----------------------------|----------|-----------------------|--------|
| H ₀ | 0 | H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | Sv efficace | 33.00 |
| H ₁ | 5 | H ₂ | 15 | H ₃ | infinito | Sv totale | 69.50 |
| S ₁ | 5 | S ₂ | 10 | S ₃ | infinito | Berezantzev | |
| L _{u1} | 5 | L _{u2} | 10 | L _{u3} | 15 | L/D=Lu/d.p. | 531.67 |
| parametri terreno | | parametri terreno | | parametri terreno | | L/D=4 | 517.79 |
| condizioni | 0 | condizioni | 0 | condizioni | 0 | L/D=32 | 536.29 |
| g ₁ | 1.9 | g ₂ | 2.00 | g ₃ | 2.0 | fattori adimensionali | |
| f ₁ | 0 | f ₂ | 0 | f ₃ | 0 | N _q | 0.0 |
| c ₁ | 0.0 | c ₂ | 0.0 | c ₃ | 0.0 | N _c | 0.0 |
| K ₁ | 0.5 | K ₂ | 0.5 | K ₃ | 0.5 | N _{c,u} | 9.0 |
| c _{u1} | 5.0 | c _{u2} | 10.0 | c _{u3} | 25.0 | resistenza alla punta | |
| q _{a1} | 4.0 | q _{a2} | 4.0 | q _{a3} | 10.0 | Q _{p,d} | 0.00 |
| q _{a1,max} | 4.0 | q _{a2,max} | 4.0 | q _{a3,max} | 10.0 | Q _{p,u} | 333.07 |
| resistenza laterale | | resistenza laterale | | resistenza laterale | | Q _p | 333.07 |
| p*k*tanf ₁ | 0.00 | p*k*tanf ₂ | 0.00 | p*k*tanf ₃ | 0.00 | | |
| Sg _{z_i} | 22.63 | Sg _{z_i} | 130.00 | Sg _{z_i} | 382.50 | | |
| Qs.1 | 75.40 | Qs.2 | 150.80 | Qs.3 | 565.49 | | |

Dati di input

| <u>Parametri del terreno</u> | | | <u>Geometria del palo</u> | | |
|------------------------------|---------------|----------------|---------------------------|------|--|
| Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 | | | |
| H.0 = 0.0 | H.1 = 5.0 | H.2 = 15.0 | d.p = | 1.2 | |
| H.1 = 5.0 | H.2 = 15.0 | H.3 = infinito | t.p = | 0.0 | |
| S.1 = 5.0 | S.2 = 10.0 | S.3 = infinito | St = | 30.0 | |
| Lu.1 = 5.0 | Lu.2 = 10.0 | Lu.3 = 15.0 | Lu = | 30.0 | |
| g1 = 1.9 | g2 = 2.00 | g3 = 2.0 | W' = | 20.4 | |
| f1 = 0 | f2 = 0 | f3 = 0 | | | |
| c1 = 0.0 | c2 = 0.0 | c3 = 0.0 | | | |
| cu.1 = 5.0 | cu.2 = 10.0 | cu.3 = 25.0 | | | |
| qa1.max = 4.0 | qa2.max = 4.0 | qa3.max = 10.0 | | | |
| K1 = 0.5 | K2 = 0.5 | K3 = 0.5 | | | |

Calcolo del carico limite del palo

| | | | |
|----------------------------------|--|--|---------------|
| <u>carico limite</u> | | Q _{lim} = SQ _{s,i} + Q _p = | 1124.75 |
| <u>carico ammissibile</u> | | Q _{amm} = Q _{lim} / 2.5 = | 449.90 |
| <u>carico agente</u> | | Q _{ag} | 644.30 |
| <u>coefficiente di sicurezza</u> | | F _{slot} = (Q _{lim} -W')/Q _{ag} = | 1.71 |
| | | F _{slat} = (Q _s -W')/Q _{ag} = | 1.20 |

| | | | |
|------------------------------------|------------------------------|--|--|
| <u>tensioni alla base del palo</u> | <u>resistenza laterale</u> | | |
| Sv efficace = 33.00 | Qs.1 = 75.40 | | |
| Sv totale = 69.50 | Qs.2 = 150.80 | | |
| <u>fattori adimensionali</u> | Qs.3 = 565.49 | | |
| Nq Berezantzev = 0.0 | ΣQs,i = 791.68 | | |
| Nc = 0.0 | <u>resistenza alla punta</u> | | |
| Nc,u = 9.0 | Qp = 333.07 | | |

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri

Viadotto San Bartolomeo . Pila 3. Pali 1500 mm VERIFICA agli S.L.U.

Calcolo del carico limite per un palo trivellato in cls

| parametri geometrici del palo | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----|----------------------|----------|
| profondità testa palo | t.p | 1 | diametro | d.p 1.50 |
| profondità punta palo | S _t | 30 | perimetro | p.p 4.71 |
| lunghezza utile palo | L _u | 29 | area | a.p 1.77 |
| profondità falda | H _f | 3.5 | L _u /d.p. | 19.33 |

| convenzione | |
|------------------------|---|
| condizioni drenate | 1 |
| condizioni non drenate | 0 |
| unità di misura [t,m] | |

| Strato 1 | |
|-----------------------|-------|
| H ₀ | 0 |
| H ₁ | 5 |
| S ₁ | 5 |
| L _{u1} | 4 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₁ | 1.9 |
| f ₁ | 0 |
| c ₁ | 0.0 |
| K ₁ | 0.5 |
| c _{u1} | 5.0 |
| q _{a1} | 4.0 |
| q _{a1max} | 4.0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₁ | 0.00 |
| Sg _{z1} | 21.68 |
| Qs.1 | 75.40 |

| Strato 2 | |
|-----------------------|--------|
| H ₁ | 5 |
| H ₂ | 15 |
| S ₂ | 10 |
| L _{u2} | 10 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₂ | 2.00 |
| f ₂ | 0 |
| c ₂ | 0.0 |
| K ₂ | 0.5 |
| c _{u2} | 10.0 |
| q _{a2} | 4.0 |
| q _{a2max} | 4.0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₂ | 0.00 |
| Sg _{z1} | 130.00 |
| Qs.2 | 188.50 |

| Strato 3 | |
|-----------------------|----------|
| H ₂ | 15 |
| H ₃ | infinito |
| S ₃ | infinito |
| L _{u3} | 15 |
| parametri terreno | |
| condizioni | 0 |
| g ₃ | 2.0 |
| f ₃ | 0 |
| c ₃ | 0.0 |
| K ₃ | 0.5 |
| c _{u3} | 25.0 |
| q _{a3} | 10.0 |
| q _{a3max} | 10.0 |
| resistenza laterale | |
| p*k*tanφ ₃ | 0.00 |
| Sg _{z1} | 382.50 |
| Qs.3 | 706.86 |

| Parametri di output | |
|-----------------------|--------|
| Sv efficace | 33.00 |
| Sv totale | 69.50 |
| Berezantzev | |
| L/D=Lu/d.p. | 527.92 |
| L/D=4 | 517.79 |
| L/D=32 | 536.29 |
| fattori adimensionali | |
| N _q | 0.0 |
| N _c | 0.0 |
| N _{c.u} | 9.0 |
| resistenza alla punta | |
| Qp _d | 0.00 |
| Qp _u | 520.42 |
| Qp | 520.42 |

Dati di input

| <u>Parametri del terreno</u> | | <u>Geometria del palo</u> | |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------|
| <u>Strato 1</u> | <u>Strato 2</u> | <u>Strato 2</u> | |
| H.0 = 0.0 | H.1 = 5.0 | H.2 = 15.0 | d.p = 1.5 |
| H.1 = 5.0 | H.2 = 15.0 | H.3 = infinito | t.p = 1.0 |
| S.1 = 5.0 | S.2 = 10.0 | S.3 = infinito | St = 30.0 |
| Lu.1 = 4.0 | Lu.2 = 10.0 | Lu.3 = 15.0 | Lu = 29.0 |
| g1 = 1.9 | g2 = 2.00 | g3 = 2.0 | W' = 30.7 |
| f1 = 0 | f2 = 0 | f3 = 0 | |
| c1 = 0.0 | c2 = 0.0 | c3 = 0.0 | |
| cu.1 = 5.0 | cu.2 = 10.0 | cu.3 = 25.0 | |
| qa1.max = 4.0 | qa2.max = 4.0 | qa3.max = 10.0 | |
| K1 = 0.5 | K2 = 0.5 | K3 = 0.5 | |

Calcolo del carico limite del palo

carico limite

Q_{lim} = S_{Qs.i} + Q_p = 1491.18

tensioni alla base del palo

s_v efficace = 33.00
 s_v totale = 69.50

resistenza laterale

Qs.1 = 75.40
 Qs.2 = 188.50
 Qs.3 = 706.86
 ΣQs.i = 970.75

carico ammissibile

Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 = 596.47

carico agente

Q_{ag} = 741.10

coefficiente di sicurezza

F_{stot} = (Q_{lim}-W')/Q_{ag} = 1.97

F_{slat} = (Qs-W')/Q_{ag} = 1.27

Nota: tutte le grandezze sono espresse in tonnellate e metri