

Città Metropolitana di Milano

Progettazione esecutiva e realizzazione dei lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" – 2° Lotto – 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+746 (Intersezione TEEM)

PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ing. Carlo Maria Merlano

PROGETTAZIONE

Ing. Andrea Orio – OB2 Ingegneria Srl
Prof. Ing. Antonio Capsoni – B&C Associati
Ing. Valter Peisino – IG Ingegneria Geotecnica Srl
Studio Ing. Alessandro Berdini
Ing. Alex Pellegatta



I. G. INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.
Dott. Ing. Valter PEISINO
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
n° 753



APPALTATORE



GIMACO COSTRUZIONI Srl

ELABORATO

OPERE D'ARTE MINORI

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni – Sottopassi Settala e Paullo

doc.254

CODICE

1822_E_R_3.26.10_02

DATA 10/2018

REDATTO F. Denaro

VER. M. Pepe

APPR. V. Peisino

SCALA

REVISIONE

DATA

REDATTO

MOTIVAZIONE

APPROVATO

NOME FILE C:\lavori...\1_LAV\1_PRO\3_PE
\8_EXT\IG\3.26.10_Rel fond
Sottopassi

01

26/10/18

AGGIORNAMENTO

02

12/12/19

AGGIORNAMENTO

REVISIONI

01 02

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)
Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo**

1 GENERALITA'

La presente *Relazione* riporta le verifiche geotecniche delle fondazioni dei sottopassi da realizzarsi nell'ambito dei lavori di riqualifica della Strada Provinciale "Paullese", per i nuovi svincoli di Settala e Paullo.

Nello specifico in corrispondenza dello Svincolo Settala e dello Svincolo Paullo sono previsti a sostegno dell'asse principale rispetto all'anello giratorio della rotatoria sottostante, 2+2 sottopassi in c.a. realizzati da uno scatolare in cui la soletta inferiore è costituita da puntoni 65x65 cm disposti ad interasse di circa 3.50 m.

Di seguito si riporta, uno stralcio planimetrico e la sezione trasversale dei sottopassi previsti in progetto per i due svincoli suddetti:

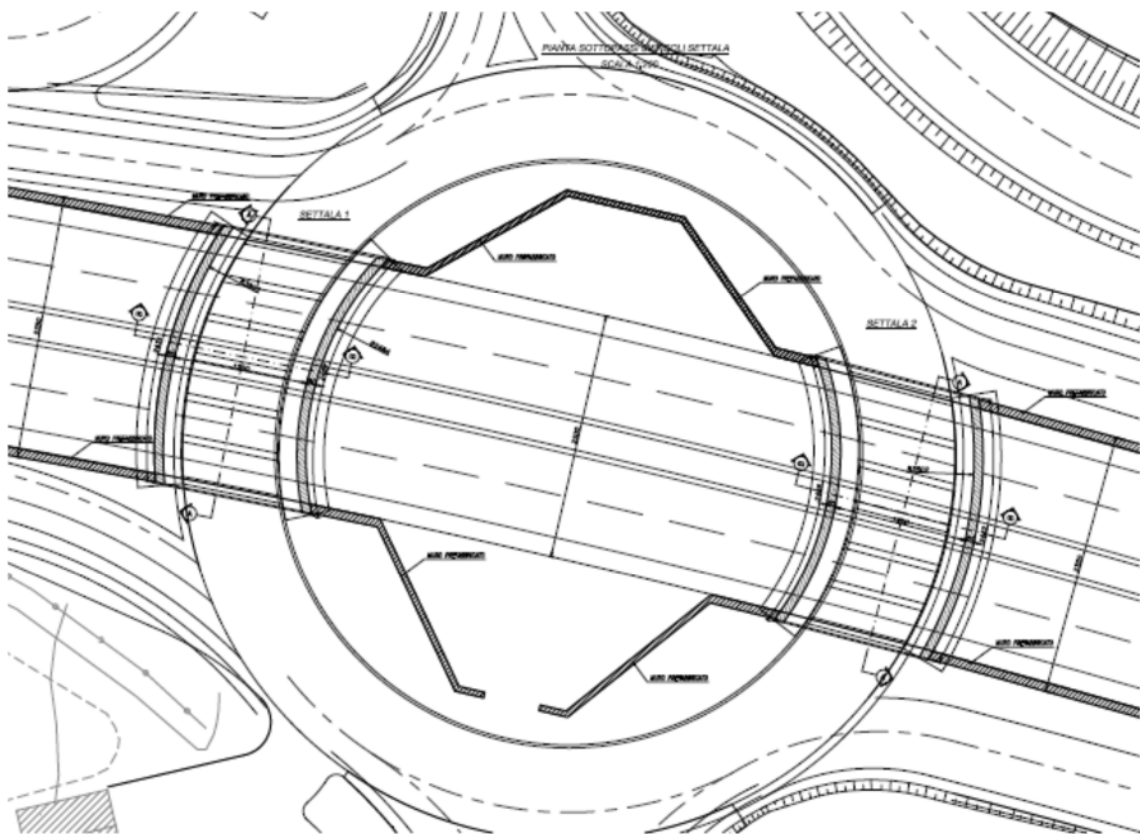


Figura 1: Stralcio planimetrico - Svincolo Settala

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)
Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

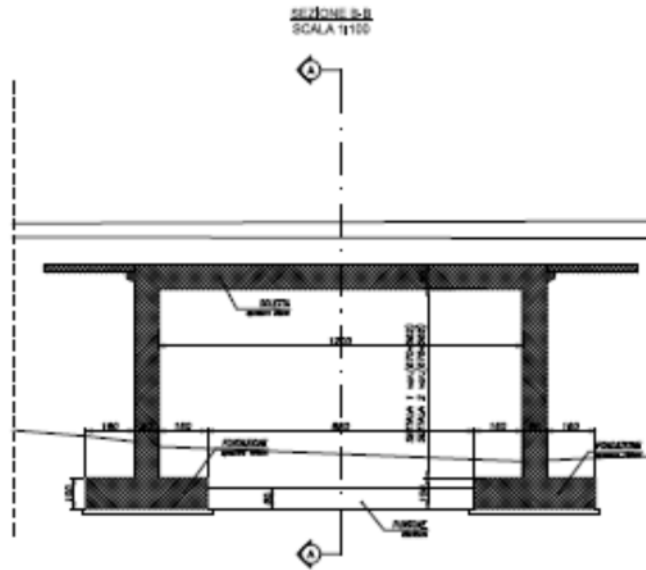


Figura 2: Sezione trasversale sottopasso Svincolo Settala

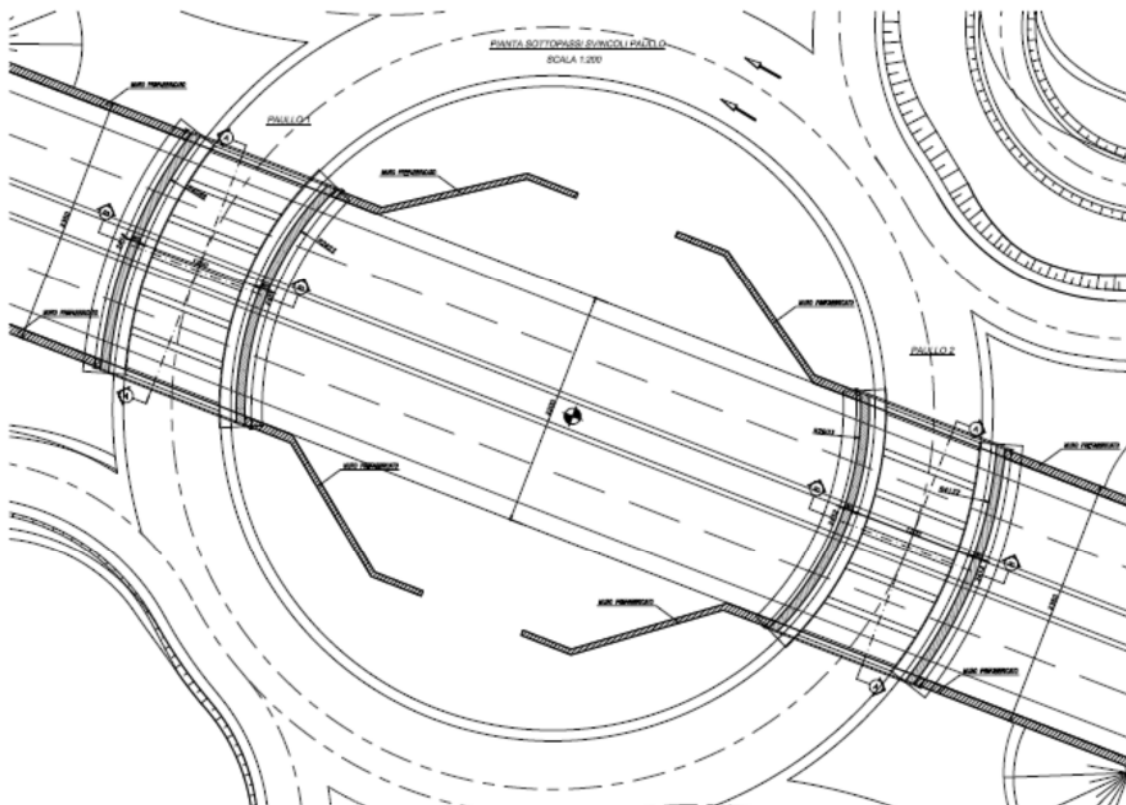


Figura 3: Stralcio planimetrico - Svincolo Paullo

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)
Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo**

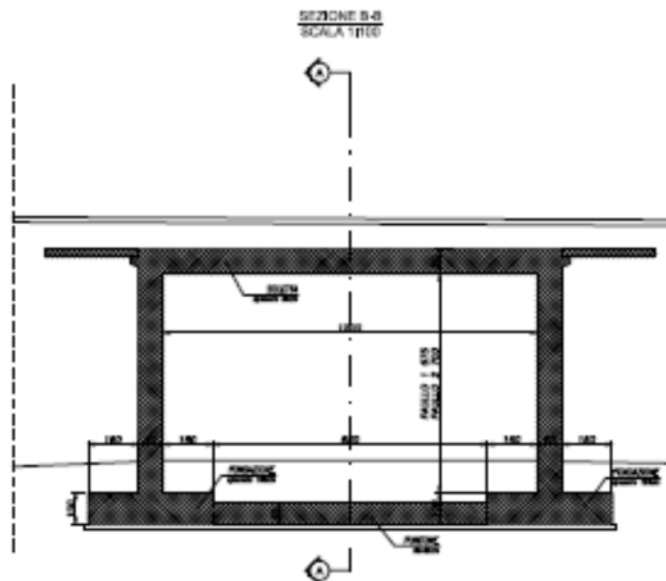


Figura 4: Sezione trasversale sottopasso Svincolo Paullo

La fondazione dei sottopassi è prevista di tipo diretto.

Entrambi sottopassi presentano la medesima geometria con una luce netta di 12 m ed altezza variabile interna compresa tra $5.62 \div 7.00$ m con altezza massima in corrispondenza del sottopasso Paullo 2. Pertanto nella presente relazione di calcolo geotecnico delle fondazioni si fa riferimento al solo Sottopasso Paullo 2 in quanto più gravoso, considerando quindi automaticamente soddisfatti i dimensionamenti delle altre opere. Per i muri di sostegno in affiancamento ai sottopassi, si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

I dimensionamenti sono stati eseguiti in ottemperanza alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni emanate il 17 gennaio 2018 e pubblicate nella G.U. n. 42 del 20/02/2018 Suppl. Ord, con riferimento quindi alle condizioni di stato limite ultimo (SLU) e di stato limite di esercizio (SLE).

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA

Ai fini della redazione del presente progetto si e' fatto riferimento alle seguenti normative e circolari:

- D.M. 17 gennaio 2018 - pubblicato nella G.U. n. 42 del 20/02/2018 Suppl. Ord,
- UNI EN 1992-1-1:2005: "Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici";
- UNI EN 1997-1:2005: "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali";
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 - "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità";
- UNI EN 11104 marzo 2004 - "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1.

2.2 SOFTWARE UTILIZZATO

Per il calcolo delle opere in esame si sono utilizzati codici di calcolo interni (codici di calcolo in Excel e Visual Basic messi a punto e testati dallo studio nel corso degli anni) che gestiscono le combinazioni di carico e le verifiche degli elementi che compongono la struttura.

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

3 INQUADRAMENTO SISMICO

Per la caratterizzazione dell'azione sismica dell'opera si è fatto riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 45.4265°
- Longitudine: 9.3991°

Si riporta di seguito il riepilogo della caratterizzazione dell'opera (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione di calcolo dell'impalcato):

- vita nominale $VN = 50$ anni
- classe d'uso III
- coefficiente d'uso $CU = 1.50$
- periodo di riferimento per l'azione sismica $VR = VN \times CU = 75$ anni

Per le analisi in condizioni sismiche è stato preso a riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i seguenti parametri:

- Categoria di suolo C ;
- Massima accelerazione orizzontale al suolo $a_g/g = 0.073$;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_S = 1.500$;
- Coefficiente di amplificazione topografica: $S_T = 1.000$.
- Coefficiente di riduzione di a_{max} : $\beta_m = 0.380$;
- Coefficiente di intensità sismica orizzontale $kh = 0.0416$;
- Coefficiente di intensità sismica verticale $kv = 0.0208$.

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paulo

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Come descritto nella relazione geotecnica di progetto, l'infrastruttura stradale è ubicata in un'area il cui terreno di base consta di terreni costituiti da una alternanza di sabbie con limo e argilla e sabbie limose con ghiaia per i primi 10 m dal p.c. per poi variare in ghiaie con sabbie e limo a profondità maggiori; in linea generale quindi si presenta un miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di resistenza del terreno con la profondità. Geotecnicamente la stratigrafia di calcolo assunta in fase di progettazione consta di 3 distinte unità geotecniche la cui parametrizzazione è di seguito riportata (trascurando i primi 1÷2 m superficiali di terreno agrario):

Unità 1:

- Profondità: $z = 0 \div 10$ m
- Peso unità di volume: $\gamma = 18 \div 19$ kN/m³
- Angolo di attrito interno: $\varphi' = 33^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 0$ kPa
- Modulo elastico: $E = 7+4z$ MPa.

Unità 2:

- Profondità: $z = 10 \div 17$ m
- Peso unità di volume: $\gamma = 18 \div 19$ kN/m³
- Angolo di attrito interno: $\varphi' = 36^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 0$ kPa
- Modulo elastico: $E = 7+4z$ MPa.

Unità 3:

- Profondità: $z = > 17$ m
- Peso unità di volume: $\gamma = 18 \div 19$ kN/m³
- Angolo di attrito interno: $\varphi' = 36^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 0$ kPa
- Modulo elastico: $E = 80$ MPa.

Tenuto conto che il piano di imposta delle fondazioni è ubicato a non meno di 2 m dal p.c. e del fatto che il modulo elastico è variabile linearmente con la profondità secondo l'espressione su riportata ($E = 7+4z$ Mpa), si può cautelativamente assumere un modulo elastico del terreno di fondazione pari a **E = 15 MPa.**

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paulo

Per i calcoli eseguiti nel seguito, il livello di falda è stato assunto a -2 m dal piano campagna.

Per quanto riguarda invece il terreno spingente sulle opere in esame, si considera un materiale per rilevato stradale per il quale sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

- Peso unità di volume: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno: $\varphi' = 35^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 0 \text{ kPa}$
- Modulo elastico: $E = 30 \text{ MPa}$.

5 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche agli stati limite, la combinazione delle azioni è effettuata secondo quanto disposto dal D. Min. 17/01/2018.

In particolare, si fa riferimento alle seguenti combinazioni:

- combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{g1} \cdot G_1 + \gamma_{g2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q,3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- combinazione rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione quasi permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Per quanto concerne il dimensionamento e le verifiche delle opere, la normativa prevede l'applicazione di coefficienti di sicurezza parziali (γ) da applicare sia alle azioni che ai materiali, scelti nell'ambito dell'Approccio 2 di norma che prevede la seguente combinazione: A1+M1+R3.

Per R3 si intende il set di coefficienti parziali di sicurezza sulle resistenze relativi alla tipologia di verifica da condurre.

Le verifiche nei confronti delle azioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni (A) e sui parametri geotecnici (M) ed adottando per le resistenze gli stessi valori assunti in condizione statica (R3).

I coefficienti parziali di sicurezza delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze sono riportati di seguito:

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

Tabella 1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni

| | Effetto | Coefficiente Parziale γ_f (o γ_E) | EQU | (A1) | (A2) |
|---|-------------|---|-----|------|------|
| Carichi permanenti G_1 | Favorevole | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevole | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾ | Favorevole | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q | Favorevole | γ_Q | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G2}

Tabella 2 Coefficienti parziali di sicurezza per i parametri geotecnici

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|--|-------------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | γ_c | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

Tabella 3 Coefficienti parziali di sicurezza per resistenze - Fondazioni dirette

| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Capacità portante della fondazione | $\gamma_R = 1,4$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |
| Ribaltamento | $\gamma_R = 1,15$ |
| Resistenza del terreno a valle | $\gamma_R = 1,4$ |

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paulo

6 AZIONI DI CALCOLO

I sottopassi in esame sono stati calcolati con un modello FEM da cui si ricavano le sollecitazioni per metro lineare di struttura ad estradosso fondazione (base piedritto/spalla).

Nella tabella seguente si riporta l'involuppo delle sollecitazioni per le combinazioni SLE, SLU e SLV, secondo un sistema di riferimento globale avente:

- X= longitudinale
- Y= trasversale
- Z= verticale

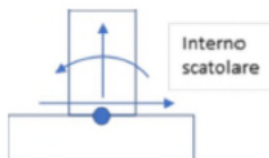


Tabella 4 Involuppo delle azioni combinate per metro lineare ad estradosso fondazione

| | Taglio (kN/m) | Momento (kNm/m) | Azione assiale (kN/m) |
|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|
| <i>Involuppo SLEqp</i> | | | |
| Taglio MAX | 132.1 | -23.2 | -411.3 |
| Momento MAX | 118.7 | 61.9 | -411.2 |
| Azione assiale MAX | 118.7 | 61.9 | -411.2 |
| Taglio MIN | 118.7 | 61.9 | -411.2 |
| Momento MIN | 132.1 | -23.2 | -411.3 |
| Azione assiale MIN | 119.7 | 57.2 | -428.0 |
| <i>Involuppo SLErara</i> | | | |
| Taglio MAX | 229.4 | -168.0 | -398.8 |
| Momento MAX | 98.4 | 142.4 | -657.4 |
| Azione assiale MAX | 182.2 | 95.7 | -380.4 |
| Taglio MIN | 75.7 | 90.5 | -595.1 |
| Momento MIN | 209.3 | -174.6 | -395.8 |
| Azione assiale MIN | 99.8 | 44.3 | -671.7 |
| <i>Involuppo SLU</i> | | | |
| Taglio MAX | 310.4 | -229.3 | -536.2 |
| Momento MAX | 132.9 | 193.9 | -890.3 |
| Azione assiale MAX | 118.7 | 61.9 | -411.2 |
| Taglio MIN | 102.2 | 124.0 | -806.2 |
| Momento MIN | 283.3 | -238.3 | -532.2 |
| Azione assiale MIN | 135.2 | 59.0 | -909.7 |
| <i>Involuppo SLV</i> | | | |
| Taglio MAX | 287.9 | -258.9 | -410.0 |
| Momento MAX | 247.9 | 271.8 | -367.3 |
| Azione assiale MAX | 247.9 | 271.8 | -367.3 |
| Taglio MIN | 118.7 | 61.9 | -411.2 |
| Momento MIN | 287.9 | -258.9 | -410.0 |
| Azione assiale MIN | 235.2 | -30.7 | -494.9 |

Successivamente tali azioni sono state estese per l'intera lunghezza della platea di fondazione e convertite secondo un sistema di riferimento destrorso XYZ con l'asse X parallelo all'asse del ponte (verso positivo verso l'impalcato), l'asse Y perpendicolare ad esso e l'asse Z positivo verso l'alto. In direzione longitudinale X si considerano positive le azioni concordi con la spinta delle terre.

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paulo

Tabella 5 *Inviluppo delle azioni compressive (L=24.5 m) combinate ad estradosso fondazione*

| | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] |
|--------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| <i>Inviluppo SLEqp</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 3237.0 | 0.0 | -10076.4 | 0.0 | 569.5 |
| Momento MAX | 2908.9 | 0.0 | -10074.8 | 0.0 | -1516.0 |
| Azione assiale MAX | 2908.9 | 0.0 | -10074.8 | 0.0 | -1516.0 |
| Taglio MIN | 2908.9 | 0.0 | -10074.8 | 0.0 | -1516.0 |
| Momento MIN | 3237.0 | 0.0 | -10076.4 | 0.0 | 569.5 |
| Azione assiale MIN | 2933.4 | 0.0 | -10486.0 | 0.0 | -1400.2 |
| <i>Inviluppo SLErara</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 5619.8 | 0.0 | -9770.3 | 0.0 | 4114.9 |
| Momento MAX | 2411.6 | 0.0 | -16105.7 | 0.0 | -3487.9 |
| Azione assiale MAX | 4462.8 | 0.0 | -9319.7 | 0.0 | -2345.3 |
| Taglio MIN | 1855.1 | 0.0 | -14578.9 | 0.0 | -2217.9 |
| Momento MIN | 5128.3 | 0.0 | -9696.8 | 0.0 | 4278.7 |
| Azione assiale MIN | 2445.6 | 0.0 | -16457.1 | 0.0 | -1084.4 |
| <i>Inviluppo SLU</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 7604.0 | 0.0 | -13137.3 | 0.0 | 5617.8 |
| Momento MAX | 3255.5 | 0.0 | -21812.5 | 0.0 | -4751.5 |
| Azione assiale MAX | 2908.9 | 0.0 | -10074.8 | 0.0 | -1516.0 |
| Taglio MIN | 2504.3 | 0.0 | -19751.4 | 0.0 | -3037.0 |
| Momento MIN | 6940.4 | 0.0 | -13038.1 | 0.0 | 5838.8 |
| Azione assiale MIN | 3312.0 | 0.0 | -22287.3 | 0.0 | -1446.5 |
| <i>Inviluppo SLV</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 7054.6 | 0.0 | -10045.8 | 0.0 | 6343.1 |
| Momento MAX | 6072.7 | 0.0 | -8999.9 | 0.0 | -6658.3 |
| Azione assiale MAX | 6072.7 | 0.0 | -8999.9 | 0.0 | -6658.3 |
| Taglio MIN | 2908.9 | 0.0 | -10074.8 | 0.0 | -1516.0 |
| Momento MIN | 7054.6 | 0.0 | -10045.8 | 0.0 | 6343.1 |
| Azione assiale MIN | 5762.5 | 0.0 | -12125.4 | 0.0 | 751.0 |

Tali azioni sopra esposte tengono in conto dei seguenti carichi:

- peso strutturale dell'opera, a meno della platea di fondazione;
- carichi da traffico;
- carichi variabili;
- spinte statiche del terreno a tergo opera;
- incremento di spinta sismico del terreno a tergo opera (spinta secondo Wood);
- forze inerziali della struttura.

Come è ovvio, avendo in input le azioni ad estradosso fondazione, mancano le azioni relative al peso della platea di fondazione, del terreno a tergo sulla mensola posteriore e le relative forze inerziali. Pertanto per condurre le verifiche geotecniche delle fondazioni, le azioni compressive sopra esposte vengono ricondotte nel baricentro platea ad intradosso fondazione tenendo in conto dei carichi suddetti (pesi ed inerzia fondazione e terreno a tergo) e dei relativi momenti di trasporto.

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" – 2° Lotto – 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni – Sottopassi Settala e Paulo

Considerando una platea di dimensioni 4.00x1.00 m ed una altezza complessiva del terreno sopra la mensola posteriore della fondazione di circa 7.50 m, le azioni complessive ad intradosso platea risultano:

Tabella 6 *Inviluppo delle azioni complessive (L=24.5 m) combinate ad intradosso fondazione*

| | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] |
|--------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| <i>Inviluppo SLEqp</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 3237.0 | 0.0 | -18112.4 | 0.0 | -2896.6 |
| Momento MAX | 2908.9 | 0.0 | -18110.8 | 0.0 | -5310.3 |
| Azione assiale MAX | 2908.9 | 0.0 | -18110.8 | 0.0 | -5310.3 |
| Taglio MIN | 2908.9 | 0.0 | -18110.8 | 0.0 | -5310.3 |
| Momento MIN | 3237.0 | 0.0 | -18112.4 | 0.0 | -2896.6 |
| Azione assiale MIN | 2933.4 | 0.0 | -18522.0 | 0.0 | -5170.0 |
| <i>Inviluppo SLErara</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 5619.8 | 0.0 | -17806.3 | 0.0 | 3031.6 |
| Momento MAX | 2411.6 | 0.0 | -24141.7 | 0.0 | -7779.6 |
| Azione assiale MAX | 4462.8 | 0.0 | -17355.7 | 0.0 | -4585.8 |
| Taglio MIN | 1855.1 | 0.0 | -22614.9 | 0.0 | -7066.1 |
| Momento MIN | 5128.3 | 0.0 | -17732.8 | 0.0 | 2703.8 |
| Azione assiale MIN | 2445.6 | 0.0 | -24493.1 | 0.0 | -5342.0 |
| <i>Inviluppo SLU</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 7604.0 | 0.0 | -23584.1 | 0.0 | 4507.5 |
| Momento MAX | 3255.5 | 0.0 | -32259.3 | 0.0 | -10210.1 |
| Azione assiale MAX | 2908.9 | 0.0 | -20521.6 | 0.0 | -7321.3 |
| Taglio MIN | 2504.3 | 0.0 | -30198.2 | 0.0 | -9246.9 |
| Momento MIN | 6940.4 | 0.0 | -23484.9 | 0.0 | 4065.1 |
| Azione assiale MIN | 3312.0 | 0.0 | -32734.1 | 0.0 | -6848.6 |
| <i>Inviluppo SLV</i> | | | | | |
| Taglio MAX | 7389.0 | 0.0 | -18249.0 | 0.0 | 7849.5 |
| Momento MAX | 6407.1 | 0.0 | -17203.1 | 0.0 | -6133.7 |
| Azione assiale MAX | 6407.1 | 0.0 | -17203.1 | 0.0 | -6133.7 |
| Taglio MIN | 3243.3 | 0.0 | -18278.0 | 0.0 | -4155.3 |
| Momento MIN | 7389.0 | 0.0 | -18249.0 | 0.0 | 7849.5 |
| Azione assiale MIN | 6096.9 | 0.0 | -20328.6 | 0.0 | 965.4 |

Per il peso del terreno a tergo dell'opera, per i coefficienti parziali sulle azioni e per i coefficienti di intensità sismica si rimanda ai capitoli precedenti.

Per maggiori dettagli sulle azioni trasmesse dall'elevazione del sottopasso si rimanda alla specifica relazione di calcolo strutturale.

7 CRITERI DI VERIFICA

7.1 CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI DIRETTE

Il presente paragrafo illustra nel dettaglio i criteri generali di calcolo adottati per le verifiche geotecniche condotte sulle opere fondazionali.

In particolare si conducono 2 tipi di verifica geotecnica per le combinazioni SLU, SLV:

- Verifica allo scorrimento;
- Verifica alla capacità portante.

Per quanto concerne invece le azioni a SLE, è necessario valutare i cedimenti, gli spostamenti e le rotazioni per assicurare la funzionalità dell'opera.

Di seguito si descrivono le verifiche suddette.

7.1.1 VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

La verifica allo scorrimento è effettuata come equilibrio alla traslazione di un corpo rigido, sollecitato dalle stesse forze prese in esame nel caso della verifica a ribaltamento.

Ciascuna forza ha una componente parallela al piano di scorrimento dell'opera, che a seconda della direzione ha un effetto stabilizzante o instabilizzante, e una componente ad esso normale che, se di compressione, genera una reazione di attrito che si oppone allo scorrimento. Una ulteriore parte dell'azione stabilizzante è costituita dall'eventuale forza di adesione che si suscita tra il terreno e la fondazione.

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento, dato dal rapporto tra l'azione stabilizzante complessiva e quella in stabilizzante, deve essere maggiore dell'unità.

7.1.2 CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Nel caso di fondazione diretta, si assume quale carico limite che provoca la rottura del terreno di fondazione quello espresso dalla formula di Brinch-Hansen che fornisce il valore della pressione media limite sulla superficie d'impronta della fondazione, eventualmente parzializzata in base all'eccentricità. Vista la natura del sedime di fondazione la verifica a capacità portante viene condotta in condizioni drenate e le espressioni complete utilizzate sono quelle seguenti:

$$Q_{lim} = 1/2 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_g \cdot i_g \cdot d_g \cdot b_g \cdot s_g \cdot g_g + C \cdot N_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot g_c + Q \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot g_q$$

Fattori di portanza:

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \cdot e \quad (\varphi \text{ in gradi})$$

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi$$

$$N_g = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi$$

Fattori di forma:

$$s_q = 1 + 0,1 \cdot (B/L) \cdot (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot (B/L) \cdot (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$$

$$s_g = s_q$$

Fattori di profondità:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi)^2 \cdot k$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \tan \varphi)$$

$$d_g = 1$$

$k = D/B$ se $D/B \leq 1$; altrimenti $k = \text{atan}(D/B)$, espresso in radianti.

Fattori di inclinazione dei carichi:

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot C_\alpha \cdot \cot g \phi} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$$

$$i_g = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot C_\alpha \cdot \cot g \phi} \right)^{m+1}$$

$$m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa:

$$b_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \varphi)^2 \quad (\varepsilon \text{ in radianti})$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \cdot \tan \varphi)$$

$$b_g = b_q$$

Fattori di inclinazione del terreno:

$$g_q = (1 - \tan \beta)^2$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \cdot \tan \varphi)$$

$$g_g = g_q$$

essendo:

γ = peso specifico del terreno di fondazione

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

Q = sovraccarico verticale agente ai bordi della fondazione

e = eccentricità della risultante (M/N) in valore assoluto

B = $B_t - 2 \cdot e$, larghezza della fondazione parzializzata

B_t = larghezza totale della fondazione

C = coesione del terreno di fondazione

D = profondità del piano di posa

L = sviluppo della fondazione

H = componente del carico parallela alla fondazione

V = componente del carico ortogonale alla fondazione

C_α = adesione alla base tra terreno e muro

ε = angolo di inclinazione del piano di posa

β = inclinazione terrapieno a valle, se verso il basso (quindi ≥ 0)

7.2 VERIFICA A SLE

Le verifiche a SLE consistono nella valutazione dei cedimenti, degli spostamenti e delle rotazioni e nell'assicurare che questi siano compatibili con la struttura e ne garantiscano la funzionalità.

7.2.1 CEDIMENTO

Il calcolo del cedimento verticale, per terreni in condizione drenata, è stato valutato mediante il metodo di Berardi (1999) secondo la seguente espressione:

$$w = \frac{q' \times B' \times (1 - \nu^2) \times I_s}{E}$$

in cui:

| H/B | Area rettangolare | | | | | Area circolare B = D |
|-----|-------------------|------|------|------|------|-------------------------|
| | L/B | | | | | |
| 0.5 | 0.35 | 0.39 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.34 |
| 1.0 | 0.56 | 0.65 | 0.67 | 0.68 | 0.71 | 0.52 |
| 1.5 | 0.63 | 0.76 | 0.81 | 0.84 | 0.89 | 0.59 |
| 2.0 | 0.69 | 0.88 | 0.96 | 0.99 | 1.06 | 0.63 |

B = dimensione minore della fondazione rettangolare
L = dimensione maggiore della fondazione rettangolare
D = diametro della fondazione circolare
H = profondità di influenza, nell'ambito della quale si sviluppa gran parte del cedimento

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

Vista la geometria della platea di fondazione è stato assunto un valore del coefficiente di influenza pari a $I_s = 0.76$.

7.2.2 SPOSTAMENTO ORIZZONTALE

Lo spostamento orizzontale indotto da una forza orizzontale poggiate su un semispazio elastico è valutato secondo le seguenti espressioni:

$$\delta_{h,x} = \frac{H_x}{\beta_x} \times \frac{(1 - \nu^2)}{E \times \sqrt{B' \times L'}}$$
$$\delta_{h,y} = \frac{H_y}{\beta_y} \times \frac{(1 - \nu^2)}{E \times \sqrt{B' \times L'}}$$

in cui:

$\delta_{h,x}$ e $\delta_{h,y}$ = spostamento orizzontale lungo X ed Y;

H_x , H_y = azione orizzontale lungo X ed Y;

B'_x , B'_y = dimensioni efficaci della platea di fondazione lungo X ed Y;

ν = coefficiente di Poisson del terreno;

E = modulo di Young del terreno;

β_x e β_y = coefficiente di influenza (Poulos & Davis, 1974):

| ν' | L/B | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 5 | 10 |
| 0.1 | 1.040 | 1.000 | 1.010 | 1.020 | 1.050 | 1.150 | 1.250 |
| 0.2 | 0.990 | 0.938 | 0.942 | 0.945 | 0.975 | 1.050 | 1.160 |
| 0.3 | 0.926 | 0.868 | 0.864 | 0.870 | 0.906 | 0.950 | 1.040 |
| 0.4 | 0.844 | 0.792 | 0.770 | 0.784 | 0.806 | 0.850 | 0.940 |
| 0.5 | 0.770 | 0.704 | 0.692 | 0.686 | 0.700 | 0.732 | 0.840 |

7.2.3 ROTAZIONE

La rotazione di fondazioni rettangolari soggette a momenti è valutata sulla base delle seguenti espressioni:

$$\theta_y = \frac{y \times M_x}{\left(\frac{B'_y}{2}\right)^3 \times E}$$
$$\theta_x = \frac{y \times M_y}{\left(\frac{B'_x}{2}\right)^3 \times E}$$

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)
Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

in cui:

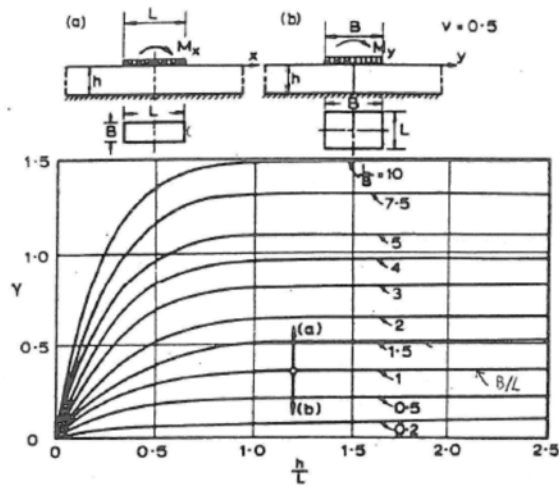
θ_x e θ_y = rotazione lungo X ed Y;

M_x , M_y = momenti lungo X ed Y;

B'_x , B'_y = dimensioni efficaci della platea di fondazione lungo X ed Y;

E = modulo di Young del terreno;

y = coefficiente di influenza (Poulos & Davis, 1974):



8 DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO DELLE FONDAZIONI

8.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

I sottopassi stradali dello Svincolo Settala e Paullo risultano geometricamente analoghi a meno dell'altezza interna che varia da un minimo di 5.62 m (sottopasso Settala 1) ad un massimo di 7 m (sottopasso Paullo 2). Pertanto nel presente capitolo si illustrano le analisi di calcolo dell'opera più gravosa ovvero il Sottopasso Paullo 2, considerando quindi automaticamente soddisfatte le verifiche degli altri sottopassi.

Il sottopasso consta di 2 piedritti dello spessore di 80 cm ed una soletta superiore in c.a. da 80 cm. La luce netta è pari a 12 m mentre l'altezza interna massima tra estradosso fondazione ed intradosso soletta superiore è di 7 m.

La fondazione consta di 2 platee di fondazione centrate rispetto ai piedritti di dimensione 4.00x1.00 m collegati tra loro da puntoni delle dimensioni 65 x65 cm disposti ad interasse di circa 3.50 m.

Di seguito si riporta la sezione trasversale del sottopasso in esame:

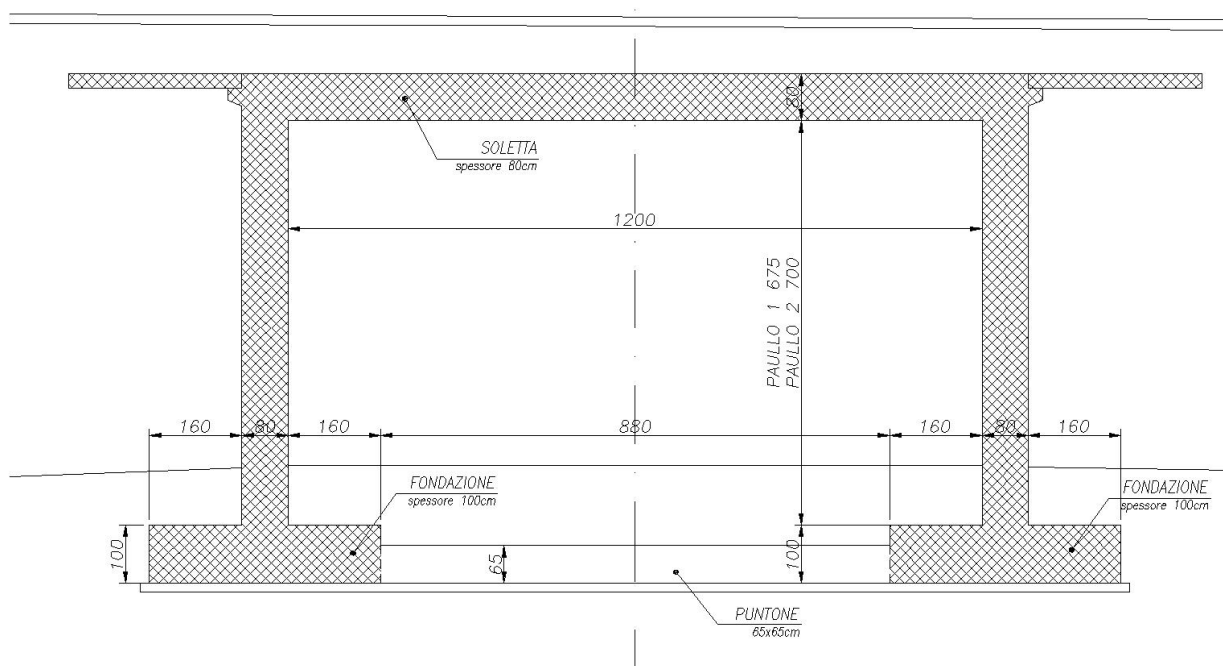


Figura 5: Sezione trasversale Sottopasso Paullo

La fondazione è di tipo diretto, il cui piano di imposta è a circa 3 m dal piano campagna.

8.2 RISULTATI DELLA VERIFICA DI EQUILIBRIO DELLA FONDAZIONE

Secondo quanto già illustrato nei capitoli precedenti, si riportano i tabulati di verifica a capacità portante e scorrimento:

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

Tabella 7 *Tabulato di verifica capacità portante e scorrimento*

| Dati platea di fondazione | | |
|------------------------------------|---------------|-------------------|
| Tipo di fondazione: | Rettagonolare | |
| Tipo di verifica: | Drenata | |
| Larghezza della platea lungo X | Bx = | 4.00 m |
| Larghezza della platea lungo Y | By = | 24.50 m |
| Altezza di scavo dal p.c. | D = | 3.00 m |
| Inclinazione piano di posa lungo X | $\alpha_x =$ | 0.00 ° 0.0000 rad |
| Inclinazione piano di posa lungo Y | $\alpha_y =$ | 0.00 ° 0.0000 rad |
| Inclinazione p.c. a valle lungo X | $\beta_x =$ | 0.00 ° 0.0000 rad |
| Inclinazione p.c. a valle lungo Y | $\beta_y =$ | 0.00 ° 0.0000 rad |

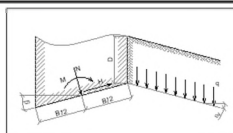
Sollecitazioni totali all'intradosso platea di fondazione per combinazione di carico
(Azioni applicate nel baricentro della platea)

| Combinazioni | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | Descrizione |
|--------------|---------|---------|-----------|----------|-----------|------------------------------|
| 1 S.L.E. | 3237.05 | 0.00 | -18112.44 | 0.00 | -2896.62 | SLEqp - Taglio MAX |
| 2 S.L.E. | 2908.90 | 0.00 | -18110.82 | 0.00 | -5310.32 | SLEqp - Momento MAX |
| 3 S.L.E. | 2908.90 | 0.00 | -18110.82 | 0.00 | -5310.32 | SLEqp - Azione assiale MAX |
| 4 S.L.E. | 2908.90 | 0.00 | -18110.82 | 0.00 | -5310.32 | SLEqp - Taglio MIN |
| 5 S.L.E. | 3237.05 | 0.00 | -18112.44 | 0.00 | -2896.62 | SLEqp - Momento MIN |
| 6 S.L.E. | 2933.38 | 0.00 | -18521.98 | 0.00 | -5170.02 | SLEqp - Azione assiale MIN |
| 7 S.L.E. | 5619.81 | 0.00 | -17806.32 | 0.00 | 3031.55 | SLErara - Taglio MAX |
| 8 S.L.E. | 2411.56 | 0.00 | -24141.66 | 0.00 | -7779.58 | SLErara - Momento MAX |
| 9 S.L.E. | 4462.75 | 0.00 | -17355.68 | 0.00 | -4585.80 | SLErara - Azione assiale MAX |
| 10 S.L.E. | 1855.05 | 0.00 | -22614.94 | 0.00 | -7066.07 | SLErara - Taglio MIN |
| 11 S.L.E. | 5128.29 | 0.00 | -17732.83 | 0.00 | 2703.80 | SLErara - Momento MIN |
| 12 S.L.E. | 2445.64 | 0.00 | -24493.08 | 0.00 | -5341.96 | SLErara - Azione assiale MIN |
| 13 A1+M1+R3. | 7603.95 | 0.00 | -23584.10 | 0.00 | 4507.55 | SLU - Taglio MAX |
| 14 A1+M1+R3. | 3255.54 | 0.00 | -32259.32 | 0.00 | -10210.12 | SLU - Momento MAX |
| 15 A1+M1+R3. | 2908.90 | 0.00 | -20521.62 | 0.00 | -7321.28 | SLU - Azione assiale MAX |
| 16 A1+M1+R3. | 2504.25 | 0.00 | -30198.24 | 0.00 | -9246.89 | SLU - Taglio MIN |
| 17 A1+M1+R3. | 6940.40 | 0.00 | -23484.89 | 0.00 | 4085.08 | SLU - Momento MIN |
| 18 A1+M1+R3. | 3312.03 | 0.00 | -32734.09 | 0.00 | -6848.62 | SLU - Azione assiale MIN |
| 19 SISMA | 7388.99 | 0.00 | -18249.03 | 0.00 | 7849.51 | SLV - Taglio MAX |
| 20 SISMA | 6407.11 | 0.00 | -17203.05 | 0.00 | -6133.72 | SLV - Momento MAX |
| 21 SISMA | 6407.11 | 0.00 | -17203.05 | 0.00 | -6133.72 | SLV - Azione assiale MAX |
| 22 SISMA | 3243.28 | 0.00 | -18278.01 | 0.00 | -4155.29 | SLV - Taglio MIN |
| 23 SISMA | 7388.99 | 0.00 | -18249.03 | 0.00 | 7849.51 | SLV - Momento MIN |
| 24 SISMA | 6096.85 | 0.00 | -20328.61 | 0.00 | 965.36 | SLV - Azione assiale MIN |

Legenda:
 Fx = Azione orizzontale lungo X
 Fy = Azione orizzontale lungo Y
 Fz = Azione verticale lungo Z (negativa se di compressione)
 Mx = Momento flettente attorno all'asse X
 My = Momento flettente attorno all'asse Y
 ex = Eccentricità rispetto ad X
 ey = Eccentricità rispetto ad Y

| Stratigrafia di calcolo: | |
|-------------------------------|--|
| Tipologia stratigrafica: | Unità 1 |
| Profondità iniziale dal p.f.: | Zi = 0.00 m |
| Profondità finale dal p.f.: | Zf = 50.00 m |
| Peso specifico: | $\gamma = 19.00 \text{ KN/m}^3$ |
| Peso specifico saturo: | $\gamma_{\text{sat}} = 19.00 \text{ KN/m}^3$ |
| Peso specifico efficace: | $\gamma' = 9.00 \text{ KN/m}^3$ |
| Angolo di attrito efficace: | $\phi' = 33.00^\circ$ |
| Coesione drenata: | c' = 0.00 kPa |
| Coesione non drenata: | cu = 0 kPa |
| Modulo elastico: | E = 15 Mpa |
| Coefficiente di Poisson: | v = 0.25 |
| | Parametri ridotti: |
| | $\phi^r = 33.00^\circ$ |
| | c ^r = 0.00 kPa |
| | cu ^r = 0.00 kPa |

| Fattori di capacità portante | |
|------------------------------|-------|
| Nc = | 38.64 |
| Nq = | 26.09 |
| N _γ = | 24.44 |
| <i>Condizioni drenate</i> | |



| Fattori correttivi di Brinch-Hansen (R. Lancellotta) | | | |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Lungo X | Lungo Y | |
| Condizioni drenate | s _q = | 1.04 | s _q = 4.42 |
| | s _γ = | 0.98 | s _γ = 7.15 |
| | s _c = | 1.04 | s _c = 4.42 |
| | d _q = | 1.21 | d _q = 1.03 |
| | d _γ = | 1.00 | d _γ = 1.00 |
| | d _c = | 1.22 | d _c = 1.03 |
| | i _q = | 0.44 | i _q = 1.00 |
| | i _γ = | 0.31 | i _γ = 1.00 |
| | i _c = | 0.44 | i _c = 1.00 |
| | b _q = | 1.00 | b _q = 1.00 |
| | b _c = | 1.00 | b _c = 1.00 |
| | b _γ = | 1.00 | b _γ = 1.00 |
| g _q = | 1.00 | g _q = 1.00 | |
| g _c = | 1.00 | g _c = 1.00 | |
| g _γ = | 1.00 | g _γ = 1.00 | |

Fattori di forma
 Fattori di profondità
 Fattori di inclinazione di carico
 Fattori di inclinazione della fondazione
 Fattori di inclinazione piano di posa

Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)

Relazione di calcolo geotecnico fondazioni - Sottopassi Settala e Paullo

Verifica a Rottura (Viggiani)

$I_{rx,crit} = 191.06$ Indice di rigidezza critico lungo X - Condizioni drenata
 $I_{ry,crit} = 1.20$ Indice di rigidezza critico lungo Y - Condizioni drenata

Rottura in condizioni drenate:

$E = 15000$ Kpa
 $\nu = 0.25$
 $G = 6000.00$ Kpa
 $I_{rx} = 207.28 > I_{r,crit}$ - Rottura generale lungo X
 $I_{ry} = 67.32 > I_{r,crit}$ - Rottura generale lungo Y

| | |
|---|---|
| Parametri di punzonamento lungo X: $\Psi_q = 1.00$ $\Psi_c = 1.00$ $\Psi_r = 1.00$ | Parametri di punzonamento lungo Y: $\Psi_q = 1.00$ $\Psi_c = 1.00$ $\Psi_r = 1.00$ |
|---|---|

Verifiche allo SLU

| Combinazioni | | Capacità portante | | | Scorrim. | | Descrizione |
|--------------|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------|--------------------------|
| N° | Tipo | q_{sd} (kPa) | q_{Rd} (D) (kPa) | q_{Rd} (U) (kPa) | FS_{eff} | FS_{eff} | |
| 13 | A1+M1+R3. | -266.08 | 341.94 | - | 1.29 | 3.30 | SLU - Taglio MAX |
| 14 | A1+M1+R3. | -391.06 | 685.87 | - | 1.75 | 3.68 | SLU - Momento MAX |
| 15 | A1+M1+R3. | -254.87 | 604.30 | - | 2.37 | 3.68 | SLU - Azione assiale MAX |
| 16 | A1+M1+R3. | -363.85 | 724.29 | - | 1.99 | 3.68 | SLU - Taglio MIN |
| 17 | A1+M1+R3. | -262.35 | 374.75 | - | 1.43 | 3.30 | SLU - Momento MIN |
| 18 | A1+M1+R3. | -373.05 | 691.94 | - | 1.85 | 3.73 | SLU - Azione assiale MIN |
| 19 | SISMA | -237.24 | 254.92 | - | 1.07 | 1.87 | SLV - Taglio MAX |
| 20 | SISMA | -213.63 | 285.92 | - | 1.34 | 5.91 | SLV - Momento MAX |
| 21 | SISMA | -213.63 | 285.92 | - | 1.34 | 2.30 | SLV - Azione assiale MAX |
| 22 | SISMA | -210.43 | 546.76 | - | 2.60 | 7.20 | SLV - Taglio MIN |
| 23 | SISMA | -237.24 | 254.92 | - | 1.07 | 2.04 | SLV - Momento MIN |
| 24 | SISMA | -212.48 | 372.51 | - | 1.75 | 5.91 | SLV - Azione assiale MIN |
| | | | | | FSmin = | 1.07 | 1.87 |

Legenda:

q_{sd} = carico agente ultimo
 q_{Rd} (D) = capacità portante ultima drenata
 q_{Rd} (U) = capacità portante ultima non drenata
 FS_{eff} = fattore di sicurezza effettivo

Calcolo di cedimenti, spostamenti e rotazioni

| Combinazioni | | Cedimenti | | Spostamenti | | Rotazioni | | Descrizione |
|--------------|--------|----------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------------------|
| N° | Tipo | w (D) (mm) | w (U) (mm) | δ_{hx} (mm) | δ_{hy} (mm) | θ_x (°) | θ_y (°) | |
| 1 | S.L.E. | -35.12 | - | 19.016 | - | 0.00000 | -0.64830 | SLEqp - Taglio MAX |
| 2 | S.L.E. | -35.11 | - | 17.088 | - | 0.00000 | -1.18851 | SLEqp - Momento MAX |
| 3 | S.L.E. | -5.73 | - | 17.088 | - | 0.00000 | -1.18851 | SLEqp - Azione assiale MAX |
| 4 | S.L.E. | -5.73 | - | 17.088 | - | 0.00000 | -1.18851 | SLEqp - Taglio MIN |
| 5 | S.L.E. | -5.54 | - | 19.016 | - | 0.00000 | -0.64830 | SLEqp - Momento MIN |
| 6 | S.L.E. | -5.85 | - | 17.232 | - | 0.00000 | -1.15711 | SLEqp - Azione assiale MIN |
| 7 | S.L.E. | -5.45 | - | 33.013 | - | 0.00000 | 0.67850 | SLErara - Taglio MAX |
| 8 | S.L.E. | -7.87 | - | 14.166 | - | 0.00000 | -1.74116 | SLErara - Momento MAX |
| 9 | S.L.E. | -5.43 | - | 26.216 | - | 0.00000 | -1.02635 | SLErara - Azione assiale MAX |
| 10 | S.L.E. | -7.32 | - | 10.897 | - | 0.00000 | -1.58147 | SLErara - Taglio MIN |
| 11 | S.L.E. | -5.40 | - | 30.125 | - | 0.00000 | 0.60514 | SLErara - Momento MIN |
| 12 | S.L.E. | -7.79 | - | 14.367 | - | 0.00000 | -1.19559 | SLErara - Azione assiale MIN |
| | | FSmin = | -35.12 | | | | | |

Legenda:

q_{sd} = carico agente ultimo
 w (D) = cedimento in condizioni drenate
 w (U) = cedimento in condizione non drenate
 δ_{hx} , δ_{hy} = spostamenti in direzione X ed Y
 θ_x , θ_y = rotazioni in direzione X ed Y

Come si evince dai tabulati precedenti, la verifica a capacità portante e a scorrimento risulta soddisfatta, con valori maggiori dell'unità (già fattorizzati).

Per quanto riguarda invece le verifiche a SLE, i valori ottenuti di cedimento verticale, spostamento e rotazione risultano accettabili e del tutto compatibili con la funzionalità dell'opera.

9 PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE

Relativamente alla costruzione dei sottopassi stradali in oggetto, si riportano le seguenti prescrizioni costruttive necessarie per mantenere in sicurezza le lavorazioni e garantire la stabilità dell'opera sia durante che dopo la sua realizzazione:

1. Fase di scavo. Sulla base delle informazioni ad oggi disponibili, l'intera area interessata dal progetto presenta un livello di falda a circa 4÷5 m di profondità dal piano campagna con cautelative variazioni stagionali fino a circa -2 m dallo stesso. Risulta pertanto necessario prevedere in accordo con la Stazione Appaltante ed il "Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana" un monitoraggio delle aree di scavo prevedendo eventualmente pompe di emungimento o file di wellpoint/pozzi di aggotamento posti lungo l'intero perimetro dello scavo, al fine di evitare venute di acqua durante le lavorazioni.
2. Fase di costruzione. Realizzate le elevazioni dei sottopassi il riempimento di terreno da rilevato a tergo dei piedritti/spalle deve essere eseguito gradualmente per step successivi avanzando contemporaneamente sui due lati dell'opera onde evitare spinte asimmetriche del terreno che possano instabilizzare la struttura od anche semplicemente determinarne una rotazione che ne pregiudichi la sua funzionalità.

Sommario

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | GENERALITA' | 1 |
| 2 | NORMATIVE E RIFERIMENTI | 4 |
| 2.1 | NORMATIVA..... | 4 |
| 2.2 | SOFTWARE UTILIZZATO..... | 4 |
| 3 | INQUADRAMENTO SISMICO | 5 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 6 |
| 5 | COMBINAZIONI DI CARICO | 8 |
| 6 | AZIONI DI CALCOLO | 10 |
| 7 | CRITERI DI VERIFICA | 13 |
| 7.1 | CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI DIRETTE | 13 |
| 7.1.1 | <i>Verifica allo scorrimento</i> | 13 |
| 7.1.2 | <i>Capacità portante del terreno di fondazione</i> | 13 |
| 7.2 | VERIFICA A SLE | 15 |
| 7.2.1 | <i>Cedimento</i> | 15 |
| 7.2.2 | <i>Spostamento orizzontale</i> | 16 |
| 7.2.3 | <i>Rotazione</i> | 16 |
| 8 | DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO DELLE FONDAZIONI | 18 |
| 8.1 | DESCRIZIONE DELL'OPERA..... | 18 |
| 8.2 | RISULTATI DELLA VERIFICA DI EQUILIBRIO DELLA FONDAZIONE | 18 |
| 9 | PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE | 21 |