

**CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA**

S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"

LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001

S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000

1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA283

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

| | |
|---|--|
| I PROGETTISTI Ing. Alberto SANCHIRICO - Progettista e Coordinatore Ing. Simona MASCIULLO - Progettista | ATTIVITA' DI SUPPORTO RTP: Lombardi Ingegneria S.r.L. - Strutture TechProject S.r.L. - Geotecnica - Impianti |
| COLLABORATORI Geom. Andrea DELL'ANNA Geom. Massimo MARTANO Geom. Giuseppe CALO' | |
| IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Alberto SANCHIRICO | |
| IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA | |
| RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT E PROGETTI SPECIALI Ing. Nicola MARZI | |
| IL COMMISSARIO STRAORDINARIO Ing. Vincenzo MARZI | |

08 - OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI
 Cavalcavia ferroviario Montesano Andrano (comune di Montesano)
 ST 25 (fuori asse)
 Relazione di calcolo geotecnica

| | | | | | |
|---|---|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. L0503A D 1701 | NOME FILE T00_ST25_GET_RE02_D.pdf CODICE ELAB. T00ST25GETRE02 | REVISIONE D | SCALA: - | | |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
| D | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | Marzo 2022 | | | |
| C | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | Gennaio 2019 | | | |
| B | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | Ottobre 2018 | | | |
| A | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | Giugno 2018 | | | |

INDICE

| | |
|----------------------------------|----|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. NORMATIVE E RIFERIMENTI | 3 |
| 2.1 Normative e standard | 3 |
| 2.2 Riferimenti bibliografici | 4 |
| 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 5 |
| 4. COMBINAZIONI DI CARICO | 6 |
| 5. METODOLOGIA DI CALCOLO | 8 |
| 6. RISULTATI E VERIFICHE | 11 |
| 6.1 Reazioni di base Spalla | 11 |
| 6.2 Verifica Spalla | 12 |
| 6.3 Calcolo dei cedimenti spalla | 16 |

1. PREMESSA

Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali seguiti per il dimensionamento delle strutture dell'opera ST25 (fuori asse svincolo Montesano Andrano) sulla SS 275 Maglie – Santa Maria di Leuca. In particolare si riportano le verifiche geotecniche per le fondazioni superficiali delle sottostrutture dell'opera in oggetto.

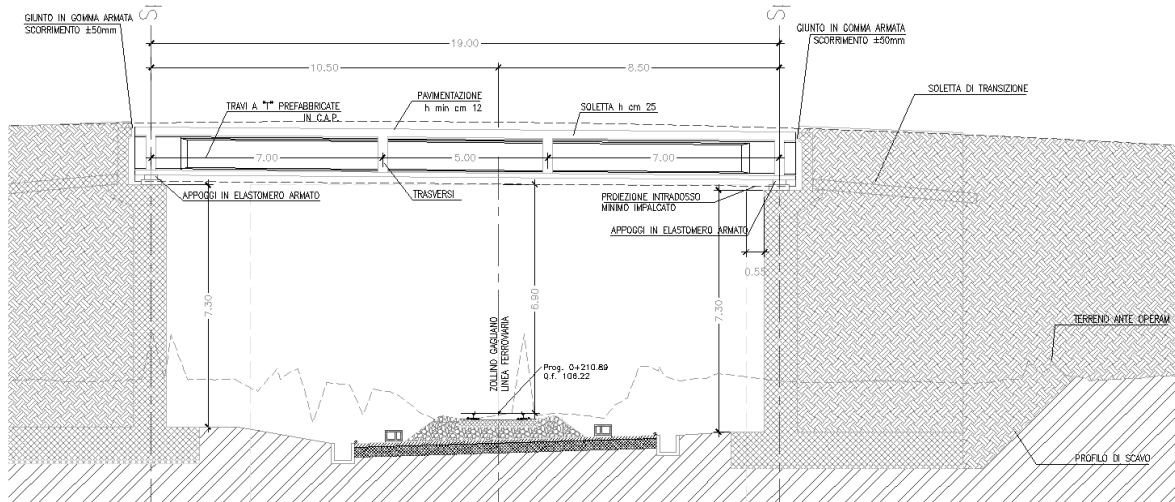


Figura 1 - Prospetto longitudinale ST25

2. NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1 Normative e standard

Il dimensionamento delle opere in progetto è condotto in riferimento alle attuali normative e di seguito elencate.

| | | |
|------|--|--|
| [1] | D.M. 17/01/2018, n.8 | Norme Tecniche per le costruzioni |
| [2] | Circ. Min. 2 febbraio 2009, n.617 | Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per la costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008 |
| [3] | Legge 05/11/1971, n.1086 | Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica" e relative istruzioni (Circ. LL.PP. 14/02/1974, n. 11951) |
| [4] | Legge 02/02/1974, n.64 | Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche |
| [5] | UNI EN 1990 | Basis of structural design |
| [6] | UNI EN 1991-1-1 | Actions on structures - General actions - Densities, self-weight and imposed loads |
| [7] | UNI EN 1991-1-4 | Actions on structures - General actions - Wind actions |
| [8] | UNI EN 1991-1-5 | Actions on structures - General actions - Thermal actions |
| [9] | UNI EN 1992-1-1 | Design of concrete structures - General - Common rules for building and civil engineering structures |
| [10] | UNI EN 1992-1-2 | Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design |
| [11] | UNI EN 1992-2 | Design of concrete structures - Bridges |
| [12] | UNI EN 1993-1-1 | Design of steel structures - General rules and rules for buildings |
| [13] | UNI EN 1993-1-8 | Design of steel structures - Design of Joints |
| [14] | UNI EN 1994-1-1 | Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings |
| [15] | UNI EN 1994-2 | Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for bridges |
| [16] | UNI EN 1997-1 | Geotechnical design - General rules |
| [17] | UNI EN 1998-1 | Design provisions for earthquake resistance of structures - General rules, seismic actions and rules for buildings |
| [18] | UNI EN 1998-2 | Design of structures for earthquake resistance - Bridges |
| [19] | UNI EN 1998-5 | Design of structures for earthquake resistance - Foundations, retaining structures and geotechnical aspects |
| [20] | Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici | Linee guida sul calcestruzzo strutturale |

- Servizio Tecnico Centrale

- [21] UNI-EN 206-1 Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità
- [22] UNI-EN 11104 Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1

2.2 Riferimenti bibliografici

- [23] "Fondazioni" - Carlo Viggiani
- [24] "Fondazioni" - Joseph E. Bowles;
- [25] "Principles of Foundation Engineering" - Braja M. Das;
- [26] "Progetti e calcoli di Geotecnica con Excel, vol1 e 2" - Marco Mancina, Roberto Nori, Pia lasello.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per l'opera in esame si considerano le seguenti caratteristiche geotecniche:

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| opera: | ST25 |
| pk: | - |
| tipo di fondazione: | superficiale |
| quota imposta fondazioni [m]: | 104÷105 |
| rif. sondaggio: | SML25 |

| STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO | | | |
|---|--------------------|------------------|----------------|
| Unità Geotecnica | Quota iniziale [m] | Quota finale [m] | ΔH [m] |
| T2b - Limi argillosi sabbiosi | 108,80 | 107,80 | 1,00 |
| R1 (A) - Calcareniti molto alterate | 107,80 | 105,30 | 2,50 |
| R1 (MA) - Calcareniti mediamente alterate | 105,30 | 98,80 | 6,50 |

| RIEPILOGO PARAMETRI GEOTECNICI | | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Unità Geotecnica | peso volume γ [kN/m ³] | res. compr. q_c [MPa] | coesione c' [kPa] | angolo att. ϕ' [°] | mod. def. E [MPa] |
| T1a - Terreno di riporto | 19÷20 | - | 10 | 20 | 10÷20 |
| T1b - Coperture eluviali e colluviali | 19 | - | 1÷10 | 28÷32 | 10÷20 |
| T2a - Sabbie e sabbie limose | 19÷20 | - | 1÷10 | 28÷32 | 10÷20 |
| T2b - Limi argillosi sabbiosi | 19 | - | 5÷15 | 25÷28 | 10 |
| R1 (A) - Calcareniti molto alterate | 20 | - | 1÷10 | 29÷33 | 10÷20 |
| R1 (MA) - Calcareniti mediamente alterate | 20 | 3,5÷9,5 | 160÷475 | 29÷31 | 150÷600 |
| R1 (NA) - Calcareniti non alterate | 22 | 23 | 1350 | 34 | 2500 |

Dal riesame della stratigrafia, per l'opera ST25 **si considera un terreno di fondazione costituito dall'unità geotecnica R1(MA)** (calcareniti mediamente alterate). Operativamente nei calcoli si assumono i seguenti parametri caratteristici:

- peso di volume: $\gamma = 20.0$ kN/m³
- coesione: $c' = 317.5$ kPa
- angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 30.0^\circ$

Circa il modulo elastico, dal riesame della geotecnica generale, risulta lecito assumere come modulo E il valore di 600MPa tuttavia cautelativamente i calcoli dei cedimenti sono stati eseguiti assumendo il valore medio di 375 MPa.

La falda, inoltre, non è presente nell'ambito delle profondità di interesse progettuale.

4. COMBINAZIONI DI CARICO

Nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU) sono stati presi in considerazione i seguenti meccanismi:

- collasso per **carico limite** dell'insieme fondazione-terreno (SLU GEO);
- collasso per **scorrimento** sul piano di posa (SLU GEO);

Le verifiche sono state effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 1, 2 e 3 di seguito riportate.

| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
|---------------|----------------------------|
| Carico limite | $\gamma_R = 2,3$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |

Tab. 1 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali (rif. Tab. 6.4.I NTC18 [1])

| 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 | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

Tab. 2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (rif. Tab. 6.2.II NTC18 [1])

| | 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_{Q1} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

Tab. 3 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (rif. Tab. 6.2.I NTC18 [1])

La capacità del complesso fondazione-terreno è stata verificata, con riferimento alle condizioni sismiche, anche allo stato limite ultimo (SLV), adottando i coefficienti parziali della Tabella 4.

| Verifica | Coefficiente parziale γ_R |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Carico limite | 2.3 |
| Scorrimento | 1.1 |
| Resistenza sulle superfici laterali | 1.3 |

Tab. 4 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche (rif. Tab. 7.11.II NTC18 [1])

Nello stato limite ultimo per scorrimento sul piano di posa, per resistenza si intende la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

Specificamente, si può tener conto della resistenza lungo le superfici laterali nel caso di contatto diretto fondazione-terreno in scavi a sezione obbligata o di contatto diretto fondazione-calcestruzzo o fondazione-acciaio in scavi sostenuti da paratie o palancole. Ai fini della verifica allo scorrimento, si può considerare la resistenza passiva solo nel caso di effettiva permanenza di tale contributo, portando in conto un'aliquota non superiore al 50%.

5. METODOLOGIA DI CALCOLO

Operativamente, per il **calcolo del carico limite** è stata impiegata l'espressione generale di Brinch-Hansen (1970):

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

nella quale:

- N_c, N_q, N_{γ} fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;
- s_c, s_q, s_{γ} fattori di forma della fondazione;
- i_c, i_q, i_{γ} fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- b_c, b_q, b_{γ} fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;
- g_c, g_q, g_{γ} fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;
- d_c, d_q, d_{γ} fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.

Per la determinazione dei fattori di capacità portante N_q e N_c si fa riferimento alle espressioni ricavate analiticamente da Prandtl (1921) e Reissner (1924). Per il fattore N_{γ} si fa riferimento all'espressione proposta da Caquot e Kérisel (1953).

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \tan \phi} \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_{\gamma} = 2 \cdot (N_q + 1) \tan \phi$$

Per tener conto dell'eccentricità e della risultante dei carichi, il valore della larghezza B da introdurre nell'equazione del carico limite è quello corrispondente all'area effettiva equivalente (Meyerhof, 1953), ossia alla minima superficie rispetto alla quale la risultante risulta centrata.

Nel caso di fondazioni quadrate o rettangolari tale larghezza è data da:

$$B = B_R - 2 \cdot e$$

dove B_R è la larghezza della fondazione reale.

Fattori di forma

$$s_{\gamma} = s_q = 1 + 0.1 \cdot K_p \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \frac{B}{L}$$

Fattori di profondità

$$\text{Per profondità relative } D/B \leq 1 \quad d_q = 1 + 2 \frac{D}{B} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$$

Per profondità relative $D/B > 1$ $d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1}(D/B)$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \phi}$$

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

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

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{N + A_f c' \cot \phi}\right)^{m+1} \quad i_q = \left(1 - \frac{H}{N + A_f c' \cot \phi}\right)^m \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \phi}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$b_q = (1 - \alpha \tan \phi)^2 \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \tan \phi} \quad b_\gamma = b_q$$

dove α è l'inclinazione del piano di posa sul piano orizzontale.

Fattori di inclinazione del pendio

$$g_q = (1 - \tan \omega)^2 \quad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \tan \phi} \quad g_\gamma = g_q$$

dove ω è l'inclinazione del piano campagna.

La resistenza allo **scorrimento** è stata valutata ammettendo un comportamento del sistema terreno-fondazione di tipo attritivo:

$$S_d = N \cdot \tan(\phi') + c' \cdot B \cdot L$$

Nei calcoli è stato trascurato il contributo di spinta del terreno posto ai lati del plinto che si oppone allo scorrimento della fondazione.

Ai fini del **calcolo dei cedimenti** risulta essenziale conoscere lo stato tensionale indotto nel terreno a varie profondità da un carico applicato in superficie. Tale valutazione è stata eseguita ipotizzando per il terreno un comportamento di mezzo continuo, elastico lineare, omogeneo ed isotropo.

Sotto queste ipotesi le tensioni nel terreno in accordo con la teoria di Boussinesq valgono:

$$\Delta \sigma_v = 3Qz^3 / (2\pi(r^2 + z^2)^{5/2})$$

con:

- Q, carico puntiforme applicato alla frontiera del mezzo;
- r, proiezione orizzontale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame;
- z, proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame.

Operativamente il calcolo è stato eseguito con il metodo dell'elasticità secondo le seguenti relazioni:

$$w_{lib} = \sum \Delta\sigma_v \cdot \Delta z / E$$

$$w_{imp} = \sum \Delta\sigma_v \cdot \Delta z \cdot (1-2\nu)^2 / (E \cdot (1-\nu))$$

dove:

- w_{lib} è il cedimento in condizioni di deformazioni laterali libere;
- w_{imp} è il cedimento in condizioni di deformazioni laterali impedite;
- $\Delta\sigma_v$ è l'incremento di tensione verticale alla profondità z calcolato secondo la formulazione di Boussinesq;
- E è il modulo elastico del terreno alla profondità z;

Δz è lo spessore dello strato i-esimo.

6. RISULTATI E VERIFICHE

Si riportano di seguito i risultati ottenuti con i modelli descritti negli elaborati T00_ST25_STR_RE01_A.

6.1 Reazioni di base Spalla

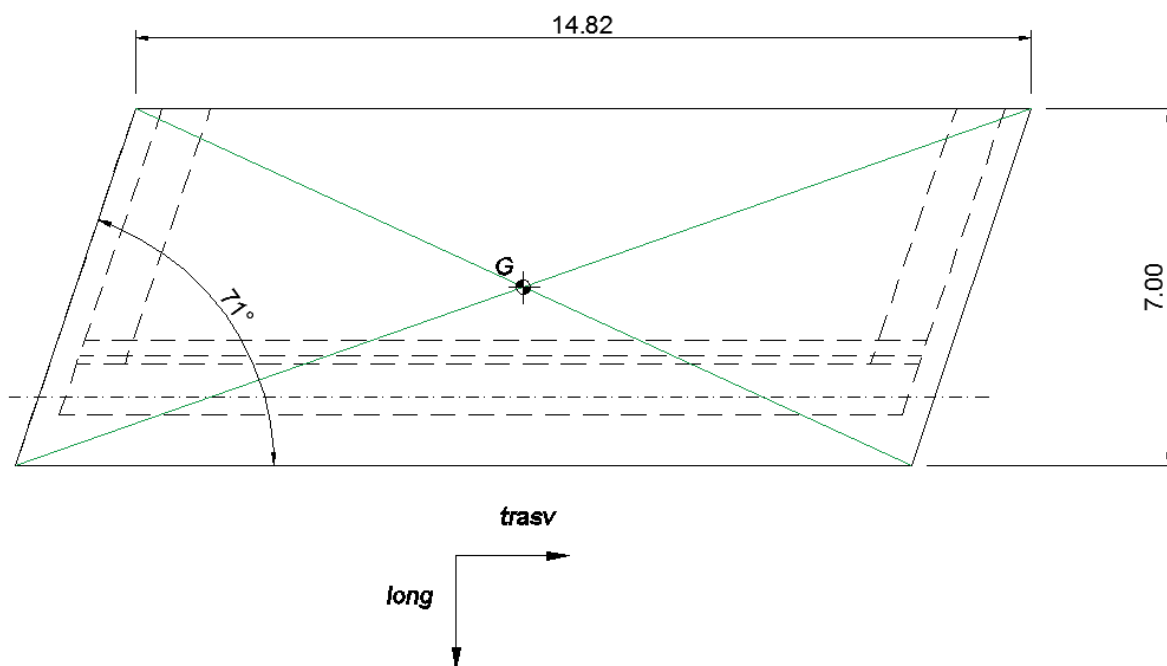
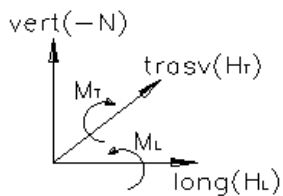


Figura 2 - Planimetria spalla

| Combinazione | H_L [kN] | H_T [kN] | N [kN] | $M_T(G)$ [kNxm] | $M_L(G)$ [kNxm] |
|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------------|--------------------|
| STA SLU 1 | 4840 | 0 | 23586 | 5832 | -13352 |
| STA SLU 2 | 4840 | 0 | 26043 | 10624 | -13352 |
| STA SLU 3 | 6579 | 106 | 29878 | 23738 | -14675 |
| STA SLU 4 | 6264 | 106 | 29419 | 21034 | -14675 |
| STA SLU 5 | 6177 | 176 | 29419 | 20234 | -13864 |
| STA SLU 6 | 6666 | 176 | 29878 | 24537 | -13864 |
| SIS SLU 7 | 8114 | 644 | 19551 | 32286 | -6443 |
| SIS SLU 8 | 4944 | 2146 | 19551 | 15155 | 1911 |
| SIS SLU 9 | 4944 | 644 | 20159 | 15022 | -6755 |
| SIS SLU 10 | 8114 | 644 | 19080 | 32495 | -6176 |
| SIS SLU 11 | 4944 | 2146 | 19080 | 15364 | 2178 |
| SIS SLU 12 | 4944 | 644 | 18587 | 15720 | -5865 |



Tab. 5 - Carichi all'intradosso della fondazione - COMBINAZIONI SLU

6.2 Verifica Spalla

Si riporta di seguito la verifica della fondazione della spalla nella combinazione peggiore sia a carico limite sia a scorrimento (SIS SLU 10): **tutte le verifiche risultano soddisfatte.**

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

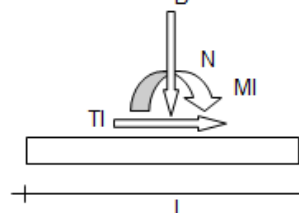
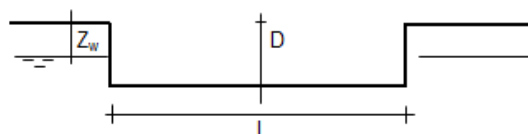
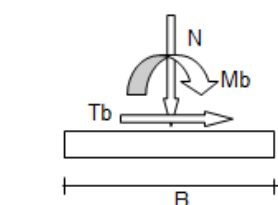
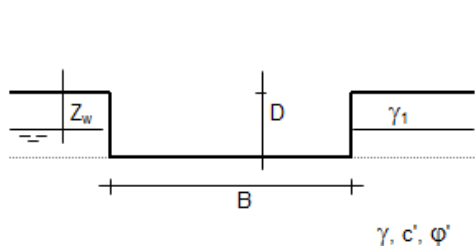
e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = MI/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

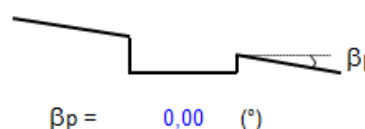
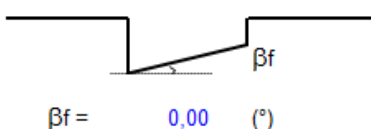
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

| Metodo di calcolo | | | coefficienti parziali | | | | | |
|--------------------------|----------|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|------------|-------|
| | | | azioni | | proprietà del terreno | | resistenze | |
| | | | permanenti | temporanee variabili | $\tan \varphi'$ | c' | q_{lim} | scorr |
| Stato Limite Ultimo | A1+M1+R1 | ○ | 1,30 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | A2+M2+R2 | ○ | 1,00 | 1,30 | 1,25 | 1,25 | 1,80 | 1,00 |
| | SISMA | ○ | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,80 | 1,00 |
| | A1+M1+R3 | ○ | 1,30 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 2,30 | 1,10 |
| | SISMA | ○ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,30 | 1,10 |
| Tensioni Ammissibili | | ○ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 3,00 |
| Definiti dal Progettista | | ● | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,30 | 1,10 |



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 7,00 (m)
 L = 14,82 (m)
 D = 1,00 (m)



AZIONI

| | valori di input | | Valori di calcolo |
|----------|-----------------|------------|-------------------|
| | permanenti | temporanee | |
| N [kN] | 19080 | 0,00 | 19079,57 |
| Mb [kNm] | 32495 | 0,00 | 32495,09 |
| MI [kNm] | -6176 | 0,00 | -6176,26 |
| Tb [kN] | 8114 | 0,00 | 8113,64 |
| TI [kN] | 644 | 0,00 | 643,75 |
| H [kN] | 8139,14 | 0,00 | 8139,14 |

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 20,00$ (kN/mc)

$\gamma = 20,00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 317,50$ (kN/mq)

$\varphi' = 30,00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 317,50$ (kN/mq)

$\varphi' = 30,00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 100,00$ (m)

$e_B = 1,70$ (m)

$e_L = -0,32$ (m)

$B^* = 3,59$ (m)

$L^* = 15,47$ (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 20,00$ (kN/mq)

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 20,00$ (kN/mc)

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 18,40$

$N_c = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_c = 30,14$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_\gamma = 22,40$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1,14$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1,13$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 0,91$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,81 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 85,46 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,19 \quad m = 1,81 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^m$$

($m=2$ nel caso di fondazione nastroforme e $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$ in tutti gli altri casi)

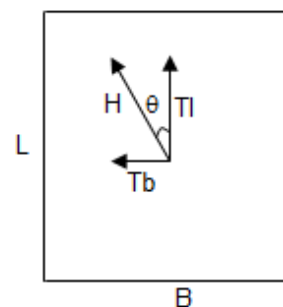
$$i_q = 0,72$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0,71$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,60$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B^* \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B^*$

per $D/B^* > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1,08$$

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

$$d_c = 1,08$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

b_c, b_q, b_y : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1,00$$

g_c, g_q, g_y : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1,00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 9156,68 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 343,25 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 3981,16 \geq q = 343,25 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 8139,14 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

$$S_d = N \tan(\varphi) + c' B^* L^*$$

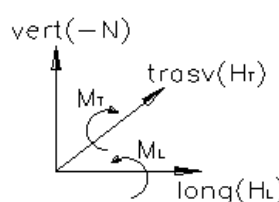
$$S_d = 28664,07 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 26058,25 \geq H_d = 8139,14 \quad (\text{kN})$$

6.3 Calcolo dei cedimenti spalla

Si riportano di seguito le sollecitazioni SLE sulla spalla più sollecitata dell'opera.



| | H_L | H_T | N | $M_T(G)$ | $M_L(G)$ |
|--------------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Combinazione | [kN] | [kN] | [kN] | [kNxm] | [kNxm] |
| STA SLE 1 | 3585 | 0 | 17471 | 4320 | -9890 |
| STA SLE 2 | 3585 | 0 | 19291 | 7869 | -9890 |
| STA SLE 3 | 4863 | 71 | 22132 | 17495 | -10960 |
| STA SLE 4 | 4624 | 71 | 21792 | 15433 | -10960 |
| STA SLE 5 | 4566 | 118 | 21792 | 14900 | -10420 |
| STA SLE 6 | 4922 | 118 | 22132 | 18028 | -10420 |

Figura 3 - Sollecitazioni SLE a intradosso fondazione spalla

A seguire si riportano i risultati in termini di cedimento calcolati con l'ausilio del software CARL12 di "AZTEC INFORMATICA".

Il cedimento massimo della Spalla è pari a 0.46 cm, la cui aliquota maggiore è dovuta ai carichi permanenti (peso proprio della spalla e dell'impalcato) tale cedimento può essere recuperato in fase di costruzione.

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

| Descrizione | Forma | X | Y | B | L | D | α | ω |
|-------------|-------|------|------|------|-------|------|----------|----------|
| | | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [°] | [°] |
| Fondazione | (R) | 0,00 | 0,00 | 7,00 | 14,82 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

| | |
|----------------|---|
| γ | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc] |
| γ_{sat} | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc] |
| ϕ | Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi |
| δ | Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi |
| c | Coesione del terreno espressa in [kPa] |
| ca | Adesione del terreno espressa in [kPa] |

| Descr | γ [kN/mc] | γ_{sat} [kN/mc] | ϕ [°] | δ [°] | c [kPa] | ca [kPa] |
|---------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|
| T1a | 19,000 | 19,000 | 20.00 | 0.00 | 10,0 | 0,0 |
| T1b | 19,000 | 19,000 | 30.00 | 0.00 | 6,0 | 0,0 |
| T2a | 19,500 | 19,500 | 30.00 | 0.00 | 5,0 | 0,0 |
| T2b | 19,000 | 19,000 | 26.00 | 0.00 | 10,0 | 0,0 |
| R1 [MA] | 20,000 | 20,000 | 30.00 | 0.00 | 317,5 | 0,0 |
| R1 [A] | 20,000 | 20,000 | 31.00 | 0.00 | 6,0 | 0,0 |
| R1 [NA] | 22,000 | 22,000 | 34.00 | 0.00 | 1350,0 | 0,0 |

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

| | |
|-------|-----------------------------------|
| Descr | Descrizione terreno |
| E | Modulo di Young espresso in [kPa] |

| Descrizione | E [kPa] | ν |
|-------------|--------------|-------|
| T1a | 15000 | 0.330 |
| T1b | 15000 | 0.330 |
| T2a | 15000 | 0.330 |
| T2b | 10000 | 0.330 |
| R1 [MA] | 375000 | 0.330 |
| R1 [A] | 15000 | 0.330 |
| R1 [NA] | 2500000 | 0.330 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

| | |
|-----------|---|
| n° | Identificativo strato |
| Z1 | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m] |
| Z2 | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m] |
| Z3 | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m] |
| Terreno | Terreno dello strato |

| | | |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Punto di sondaggio n° 1: | X = 0,0 [m] | Y = 0,0 [m] |
| Punto di sondaggio n° 2: | X = 3,0 [m] | Y = 0,0 [m] |
| Punto di sondaggio n° 3: | X = 0,0 [m] | Y = 3,0 [m] |

| n° | Z1 | Z2 | Z3 | Terreno |
|----|------|------|------|---------|
| | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | -5,7 | -5,7 | -4,7 | R1 [MA] |

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 2

Simbologia adottata

| | |
|--------------------|--|
| γ_{Gsfav} | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti |
| γ_{Gfav} | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti |
| γ_{Qsfav} | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili |
| γ_{Qfav} | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili |
| $\gamma_{tan\phi}$ | Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato |
| γ_c | Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata |
| γ_{cu} | Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata |
| γ_{qu} | Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo |
| γ_γ | Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce |

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

| Carichi | Effetto | | Statici | | Sismici | |
|------------|-------------|------------------|---------|------|---------|------|
| | | | A1 | A2 | A1 | A2 |
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| Parametri | | Statici | | Sismici | |
|---------------------------------------|--------------------|---------|------|---------|------|
| | | M1 | M2 | M1 | M2 |
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan\phi}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniaassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

| | | R1 | R2 | R3 |
|-------------------|------------|------|------|------|
| Capacità portante | γ_r | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | γ_r | 1.00 | 1.10 | 1.10 |

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

| | |
|----------------------|---|
| <i>Fondazione</i> | Nome identificativo della fondazione |
| <i>N</i> | Sforzo normale totale espressa in [kN] |
| <i>M_x</i> | Momento in direzione X espressa in [kNm] |
| <i>M_y</i> | Momento in direzione Y espresso in [kNm] |
| <i>e_x</i> | Eccentricità del carico lungo X espressa in [m] |
| <i>e_y</i> | Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m] |
| <i>β</i> | Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°] |
| <i>T</i> | Forza di taglio espressa in [kN] |

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - PERMANENTE

| Fondazione | N | M _x | M _y | e _x | e _y | β | T |
|------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-------|
| | [kN] | [kNm] | [kNm] | [m] | [m] | | [kN] |
| Fondazione | 22132,000 | -10960,000 | 17495,000 | 0,8 | 0,5 | 90,0 | 0,000 |

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - PERMANENTE

| Fondazione | N | M _x | M _y | e _x | e _y | β | T |
|------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-------|
| | [kN] | [kNm] | [kNm] | [m] | [m] | | [kN] |
| Fondazione | 22132,000 | -10420,000 | 18028,000 | 0,8 | 0,5 | 90,0 | 0,000 |

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

| | |
|----------|---|
| <i>γ</i> | Coefficiente di partecipazione della condizione |
| <i>ψ</i> | Coefficiente di combinazione della condizione |

Combinazione n° 1 SLER

| Nome | γ | ψ |
|-----------------|------|------|
| Condizione n° 2 | 1.00 | 1.00 |

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il **metodo Elastico**.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

Risultati

Cedimenti

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

| | |
|------------------------|---|
| <i>cmb</i> | Identificativo della combinazione |
| <i>w_i</i> | Cedimento elastico espresso in [cm] |
| <i>w_{imp}</i> | Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm] |
| <i>H</i> | Spessore strato compressibile espresso in [m] |
| <i>X</i> | coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m] |
| <i>Y</i> | coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m] |

Fondazione

| cmb | w_i [cm] | w_{imp} [cm] | H [m] | X [m] | Y [m] |
|------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,46 | 0,36 | 21,20 | 0,81 | -0,47 |

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

| | |
|-------------------------|---|
| <i>Strato</i> | Identificativo dello strato |
| <i>Terreno</i> | Terreno dello strato |
| <i>ΔH</i> | Spessore dello strato espresso in [m] |
| <i>Δw_i</i> | Cedimento elastico espresso in [cm] |
| <i>Δw_{imp}</i> | Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm] |

Combinazione n° 1 (Fondazione n° 1)

| Strato | Terreno | ΔH [m] | Δw_i [cm] | Δw_{imp} [cm] |
|---------------|----------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | R1 [MA] | 21,20 | 0,4573 | 0,3596 |
| | | 21,20 | 0,4573 | 0,3596 |

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati

Simbologia adottata

| | |
|-----------------------|--|
| <i>n°</i> | numero d'ordine dell'i-esimo strato |
| <i>z</i> | quota media dell'i-esimo strato espresso in [m] |
| <i>ΔH</i> | spessore dello strato i-esimo espresso in [cm] |
| <i>Δσ_v</i> | incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [kPa] |
| <i>E</i> | modulo elastico dell'i-esimo strato espresso in [kPa] |
| <i>Δw</i> | cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm] |

Combinazione n° 1 (Fondazione n° 1)

| n° | z | ΔH | $\Delta\sigma_v$ | E | Δw |
|----|--------|--------------|------------------|--------|----------------------------|
| | [m] | [cm] | [kPa] | [kPa] | [cm] |
| 1 | -0,53 | 1,06 | 250 | 375000 | 0,0395 |
| 2 | -1,59 | 1,06 | 237 | 375000 | 0,0483 |
| 3 | -2,65 | 1,06 | 210 | 375000 | 0,0484 |
| 4 | -3,71 | 1,06 | 180 | 375000 | 0,0444 |
| 5 | -4,77 | 1,06 | 153 | 375000 | 0,0392 |
| 6 | -5,83 | 1,06 | 129 | 375000 | 0,0342 |
| 7 | -6,89 | 1,06 | 110 | 375000 | 0,0296 |
| 8 | -7,95 | 1,06 | 94 | 375000 | 0,0257 |
| 9 | -9,01 | 1,06 | 80 | 375000 | 0,0223 |
| 10 | -10,07 | 1,06 | 69 | 375000 | 0,0194 |
| 11 | -11,13 | 1,06 | 60 | 375000 | 0,0170 |
| 12 | -12,19 | 1,06 | 53 | 375000 | 0,0150 |
| 13 | -13,25 | 1,06 | 46 | 375000 | 0,0132 |
| 14 | -14,31 | 1,06 | 41 | 375000 | 0,0118 |
| 15 | -15,37 | 1,06 | 37 | 375000 | 0,0105 |
| 16 | -16,43 | 1,06 | 33 | 375000 | 0,0094 |
| 17 | -17,49 | 1,06 | 29 | 375000 | 0,0085 |
| 18 | -18,55 | 1,06 | 27 | 375000 | 0,0077 |
| 19 | -19,61 | 1,06 | 24 | 375000 | 0,0070 |
| 20 | -20,67 | 1,06 | 22 | 375000 | 0,0064 |
| | | 21,20 | | | 0,4573 - 0,3596 |