

E 78 GROSSETO - FANO
TRATTO SELCI - LAMA (E 45) - S.STEFANO DI GAIFA
Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest -
Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)

PROGETTO DEFINITIVO

AN 245

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

| | | |
|---|---|--|
| <p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. David Crenca</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Frosinone n. A1782</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>coopprogetti</p> <p>(Mandante)</p> <p>engeko</p> <p>(Mandante)</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> |
| <p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p> |  | |
| <p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p> | | |
| <p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p> | |  |

OPERE D'ARTE MINORI

Opere di Sostegno – Paratia OS02 – Da Progr. 3+820 a 3+990

Relazione Tecnica e di Calcolo

| | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|------------------------------------|---------|------------|-----------|
| CODICE PROGETTO | | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA |
| PROGETTO | LIV.PROG | ANNO | T00OS02STRRE01A | | | |
| D | D | 22 | T 0 0 O S 0 2 S T R R E 0 1 | | A | - |
| D | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | | | | | | |
| A | Emissione | | Ottobre '22 | Suraci | Crenca | Guiducci |
| REV. | DESCRIZIONE | | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. DESCRIZIONE INTERVENTO..... | 3 |
| 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO..... | 3 |
| 3. RICHIAMI TEORICI | 3 |
| 3.1. METODO DI ANALISI..... | 3 |
| 3.1.1. <i>Calcolo della profondità di infissione</i> | 3 |
| 3.2. CALCOLO DELLE SPINTE | 4 |
| 3.2.1. <i>Metodo di Culmann</i> | 4 |
| 3.2.2. <i>Spinta in presenza di falda</i> | 5 |
| 3.2.3. <i>Spinta in presenza di sisma</i> | 5 |
| 3.2.4. <i>Verifica alla stabilità globale</i> | 5 |
| 3.2.5. <i>Verifiche idrauliche</i> | 6 |
| 3.3. ANALISI DEI PALI | 7 |
| 3.3.1. <i>Capacità portante di punta</i> | 7 |
| 3.3.2. <i>Capacità portante per resistenza laterale</i> | 8 |
| 4. DATI | 8 |
| 4.1. GEOMETRIA PARATIA | 8 |
| 4.2. GEOMETRIA CORDOLI..... | 9 |
| 4.3. GEOMETRIA PROFILO TERRENO | 10 |
| 4.4. DESCRIZIONE TERRENI..... | 10 |
| 4.4.1. <i>Stratigrafia</i> | 10 |
| 4.5. FALDA..... | 11 |
| 4.6. CARATTERISTICHE TIRANTI DI ANCORAGGIO..... | 11 |
| 4.6.1. <i>Descrizione tiranti di ancoraggio</i> | 12 |
| 4.7. CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI | 12 |
| 4.8. COMBINAZIONI DI CARICO | 12 |
| 4.9. NORMATIVA..... | 13 |
| 4.9.1. <i>Impostazioni di progetto</i> | 13 |
| 4.9.2. <i>Impostazioni verifiche SLU</i> | 14 |
| 4.9.3. <i>Impostazioni verifiche SLE</i> | 15 |
| 4.9.4. <i>Impostazioni di analisi</i> | 15 |
| 4.9.5. <i>Impostazioni analisi sismica</i> | 16 |
| 5. RISULTATI..... | 17 |
| 5.1. ANALISI DELLA PARATIA | 17 |

PROGETTAZIONE ATI:

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.1.1. | <i>Forze agenti sulla paratia</i> | 17 |
| 6. | <u>VERIFICHE GEOTECNICHE</u> | 18 |
| 6.1. | VALORI MASSIMI E MINIMI SOLLECITAZIONI PER METRO DI PARATIA | 18 |
| 6.2. | SPOSTAMENTI MASSIMI E MINIMI DELLA PARATIA | 19 |
| 6.3. | VERIFICHE DI CORPO RIGIDO | 20 |
| 6.4. | STABILITÀ GLOBALE | 21 |
| 6.4.1. | <i>Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo</i> | 21 |
| 7. | <u>RISULTATI TIRANTI</u> | 22 |
| 8. | <u>VERIFICA ARMATURA PARATIA (SEZIONI CRITICHE)</u> | 22 |
| 8.1. | VERIFICA A FLESSIONE | 23 |
| 8.2. | VERIFICA A TAGLIO..... | 23 |
| 8.3. | VERIFICA TENSIONI | 23 |
| 8.4. | VERIFICA FESSURAZIONE | 23 |
| 8.5. | VERIFICA ARMATURA PARATIA (INVILUPPO SEZIONI CRITICHE) | 24 |
| 8.5.1. | <i>Verifica a flessione</i> | 24 |
| 8.5.2. | <i>Verifica a taglio</i> | 24 |
| 8.6. | VERIFICA TENSIONI | 24 |
| 8.7. | VERIFICA SEZIONE CORDOLI | 25 |
| 9. | <u>DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (PUNTO 10.2)</u> | 27 |

1. DESCRIZIONE INTERVENTO

La presente relazione ha per oggetto la progettazione strutturale dell'opera d'arte identificata come OS2, la cui tipologia è quella di una paratia di controripa in c.a., realizzata con pali trivellati di grande diametro ed un ordine di tiranti.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
- Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
- Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
- Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018
- Testo relazione stile normale – deve essere usato per il testo dei paragrafi

3. RICHIAMI TEORICI

3.1. METODO DI ANALISI

3.1.1. CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.

PROGETTAZIONE ATI:

Pertanto, il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, contropinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

| | |
|----------|---|
| K_{am} | diagramma della spinta attiva agente da monte |
| K_{av} | diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata |
| K_{pm} | diagramma della spinta passiva agente da monte |
| K_{pv} | diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata. |

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} K_{av} \quad e \quad D_v = K_{pv} K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione si può agire con tre modalità:

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(\phi)$ e sulla coesione

3.2. CALCOLO DELLE SPINTE

3.2.1. METODO DI CULMANN

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione α rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

PROGETTAZIONE ATI:

3.2.2. SPINTA IN PRESENZA DI FALDA

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Il regime di filtrazione della falda può essere idrostatico o idrodinamico.

Nell'ipotesi di regime idrostatico sia la falda di monte che di valle viene considerata statica, la pressione in un punto a quota h al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a:

$$\gamma_w \times h$$

3.2.3. SPINTA IN PRESENZA DI SISMA

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

3.2.4. VERIFICA ALLA STABILITÀ GLOBALE

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

PROGETTAZIONE ATI:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \phi_i \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato ed è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

3.2.5. VERIFICHE IDRAULICHE

3.2.5.1. Verifica a sifonamento

Per la verifica a sifonamento si utilizza il metodo del gradiente idraulico critico.

Il coefficiente di sicurezza nei confronti del sifonamento è dato dal rapporto tra il gradiente critico i_c e il gradiente idraulico di efflusso i_E .

$$FS_{SIF} = i_c / i_E$$

Il gradiente idraulico critico è dato dal rapporto tra il peso efficace medio γ_m del terreno interessato da filtrazione ed il peso dell'acqua γ_w .

$$i_c = \gamma_m / \gamma_w$$

Il gradiente idraulico di efflusso è dato dal rapporto tra la differenza di carico ΔH e la lunghezza della linea di flusso L .

$$i_E = \Delta H / L$$

Il moto di filtrazione è assunto essere monodimensionale.

3.2.5.2. Verifica a sollevamento del fondo scavo

Per la verifica a sollevamento si utilizza il metodo di Terzaghi.

Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno.

Secondo Terzaghi il volume interessato da sollevamento ha profondità D e larghezza $D/2$.

D rappresenta la profondità di infissione della paratia.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto W e la pressione idrica al piede della paratia U dovuta dalla presenza di una falda in moto idrodinamico.

$$FS_{SCAVO} = W / U$$

La pressione idrodinamica è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

3.3. ANALISI DEI PALI

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_u = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

- Q_T portanza totale del palo
- Q_p portanza di base del palo
- Q_L portanza per attrito laterale del palo
- W_p peso proprio del palo

e le due componenti Q_p e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_u = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_u = \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

3.3.1. CAPACITÀ PORTANTE DI PUNTA

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p \left(cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2} B\gamma N'_\gamma \right)$$

dove:

- A_p è l'area portante efficace della punta del palo
- c è la coesione
- q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo

PROGETTAZIONE ATI:

γ è il peso specifico del terreno

D è il diametro del palo

N'_c N'_q N'_γ sono i coefficienti di capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità.

3.3.2. CAPACITÀ PORTANTE PER RESISTENZA LATERALE

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_l = \int_s \tau_a ds$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_z \tan \delta$$

dove:

c_a è l'adesione palo-terreno

δ è l'angolo di attrito palo-terreno

γ è il peso specifico del terreno

z è la generica quota a partire dalla testa del palo

L è la lunghezza del palo

P è il perimetro del palo

K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

4. DATI

4.1. GEOMETRIA PARATIA

Tipo paratia: **Paratia di pali**

| | | |
|----------------------------------|--------|------|
| Altezza fuori terra | 7,50 | [m] |
| Lunghezza paratia | 10,00 | [m] |
| Numero di file di pali | 1 | |
| Interasse fra i pali della fila | 1,20 | [m] |
| Diametro dei pali | 100,00 | [cm] |
| Numero totale di pali | 7 | |
| Numero di pali per metro lineare | 0.70 | |

PROGETTAZIONE ATI:

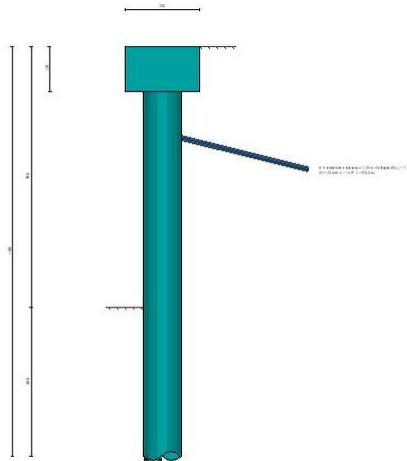


Fig. 1 - Sezione

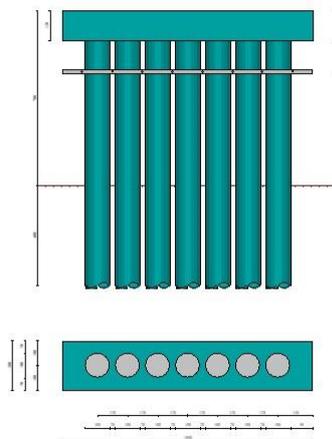


Fig. 2 - Pianta/Prospetto

4.2. GEOMETRIA CORDOLI

Simbologia adottata

n° numero d'ordine del cordolo
 Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
 H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cm²]
 W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm³]

| N° | Y | Tipo | B | H | A | W |
|----|---|------|---|---|---|---|
|----|---|------|---|---|---|---|

PROGETTAZIONE ATI:

| | [m] | | [cm] | [cm] | [cmq] | [cm^3] |
|---|------|--------------|--------|--------|-------|--------|
| 1 | 0,00 | Calcestruzzo | 200,00 | 120,00 | -- | -- |
| 2 | 2,45 | Acciaio | -- | -- | 65,25 | 425,70 |

4.3. GEOMETRIA PROFILO TERRENO

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
 X ascissa del punto espressa in [m]
 Y ordinata del punto espressa in [m]
 A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

| N° | X [m] | Y [m] | A [°] |
|----|-------|-------|-------|
| 2 | 3,30 | 0,00 | 0.00 |
| 3 | 10,80 | 5,00 | 33.69 |
| 4 | 12,80 | 5,00 | 0.00 |
| 5 | 20,00 | 9,77 | 33.52 |
| 6 | 21,00 | 10,00 | 12.95 |

Profilo di valle

| N° | X [m] | Y [m] | A [°] |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | -10,00 | -7,00 | 0.00 |
| 2 | 0,00 | -7,00 | 0.00 |

4.4. DESCRIZIONE TERRENI

Simbologia adottata

n° numero d'ordine
 Descrizione Descrizione del terreno
 γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
 γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
 c coesione del terreno espressa in [kPa]
 ca adesione terreno/paratia espressa in [kPa]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
 τ_1 tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kPa]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

| N° | Descrizione | γ [kN/mc] | γ_{sat} [kN/mc] | ϕ [°] | δ [°] | c [kPa] | ca [kPa] | Cesp | τ_1 [kPa] | |
|----|---|------------------|------------------------|------------|--------------|---------|----------|------|----------------|-----|
| 1 | COLTRI DETRITICHE | 20,000 | 22,000 | 26.00 | 17.33 | 10,0 | 0,0 | 1.45 | 50,0 | CAR |
| | | | | 24.00 | 16.00 | 10,0 | 0,0 | | 40,0 | MIN |
| | | | | 26.00 | 17.33 | 20,0 | 0,0 | | 50,0 | MED |
| 2 | FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA ALTERATA UG3a | 26,000 | 28,000 | 36.00 | 24.00 | 20,0 | 0,0 | 1.80 | 128,6 | CAR |
| | | | | 32.00 | 20.00 | 20,0 | 0,0 | | 125,0 | MIN |
| | | | | 36.00 | 24.00 | 30,0 | 0,0 | | 128,6 | MED |
| 3 | FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA UG3b | 26,000 | 28,000 | 42.00 | 28.00 | 35,0 | 0,0 | 1.80 | 128,6 | CAR |
| | | | | 40.00 | 26.67 | 35,0 | 0,0 | | 125,0 | MIN |
| | | | | 42.00 | 28.00 | 50,0 | 0,0 | | 128,6 | MED |

4.4.1. STRATIGRAFIA

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
 sp spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
 kw costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm²/cm]
 α inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
 Terreno Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

| N° | sp [m] | α_M [°] | α_V [°] | KwM [kg/cmq/cm] | KwV [kg/cmq/cm] | Terreno M | Terreno V |
|----|--------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 7,00 | 0.00 | 0.00 | 1.34 | 1.34 | COLTRI DETRITICHE | COLTRI DETRITICHE |
| 2 | 4,00 | 0.00 | 0.00 | 5.36 | 5.36 | FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA | FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA |

PROGETTAZIONE ATI:

| N° | sp [m] | α_m [°] | α_v [°] | K _{wm} [kg/cm ² /cm] | K _{wv} [kg/cm ² /cm] | Terreno M | Terreno V |
|----|-----------|-------------------|-------------------|---|---|--|--|
| 3 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 17,89 | 17,89 | ALTERATA UG3a FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA UG3b | ALTERATA UG3a FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA UG3b |

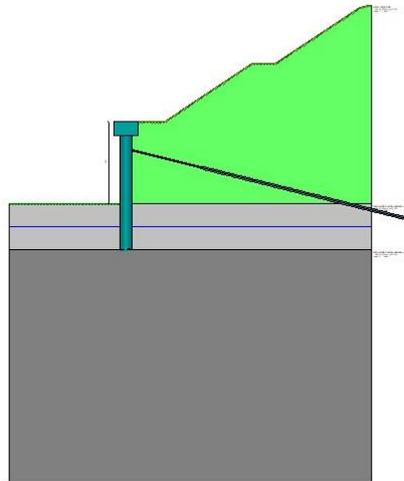


Fig. 3 - Stratigrafia

4.5. FALDA

| | | |
|--|--------------------|-----|
| Profondità della falda a monte rispetto alla sommità della paratia | 9,00 | [m] |
| Profondità della falda a valle rispetto alla sommità della paratia | 9,00 | [m] |
| Regime delle pressioni neutre: | Idrostatico | |

4.6. CARATTERISTICHE TIRANTI DI ANCORAGGIO

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante attivo (trefoli)

| | | |
|--|--|--------------------|
| Calcolo tiranti: | PROGETTO | |
| Diametro della perforazione | 12,00 | [cm] |
| Coeff. di espansione laterale | 1.80 | |
| Malta utilizzata per i tiranti | | |
| Classe di Resistenza | Rck 250 | |
| Resistenza caratteristica a compressione R _{ck} | 24517 | [kPa] |
| Acciaio utilizzato per i tiranti | | |
| Tipo | Precomp | |
| Tensione di snervamento f _{yk} | 1569089 | [kPa] |
| Tiranti attivi armati con trefoli | | |
| Area del singolo trefolo: | 1,39 | [cm ²] |
| Numero di trefoli del tirante: | 4 | |
| Coefficiente cadute di tensione: | 1.30 | |
| Coeff. correttivo ω : | SI | |
| Metodo di calcolo dei tiranti: | BUSTAMANTE-DOIX | |
| Superficie di ancoraggio | Angolo di rottura | |
| Tensione limite resistenza malta | Tensione tangenziale aderenza acciaio-cls f _{bd} = 1643 | [kPa] |

PROGETTAZIONE ATI:

4.6.1. DESCRIZIONE TIRANTI DI ANCORAGGIO

Simbologia adottata

| | |
|-----------|--|
| n° | numero d'ordine della fila |
| Tipologia | Descrizione tipologia tirante |
| Y | ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia |
| I | interasse tra le file di tiranti espressa in [m] |
| f | franco laterale espressa in [m] |
| alfa | inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°] |
| ALL | allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI) |
| nr | numero di tiranti della fila |
| Lt | lunghezza totale del tirante espresso in [m] |
| Lf | lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m] |
| T | tiro iniziale espresso in [kN] |

| n° | Tipo | Y [m] | I [m] | f [m] | Alfa [°] | ALL | nr | Lt [m] | Lf [m] | T [kN] |
|----|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Tirante attivo (trefoli) | 0,60 | 1,20 | 0,20 | 45.00 | Centrati | 7 | --- | -- | 80,0000 |

4.7. CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---|
| γ_{cls} | Peso specifico cls, espresso in [kN/mc] |
| Classe cls | Classe di appartenenza del calcestruzzo |
| Rck | Rigidità cubica caratteristica, espressa in [kPa] |
| E | Modulo elastico, espresso in [kPa] |
| Acciaio | Tipo di acciaio |
| n | Coeff. di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo |

| Descrizione | γ_{cls} [kN/mc] | Classe cls | Rck [kPa] | E [kPa] | Acciaio | n |
|--------------|---------------------------|------------|--------------|------------|---------|-------|
| Paratia | 24,52 | C25/30 | 30000 | 31447048 | B450C | 15.00 |
| Cordolo/Muro | 24,52 | C25/30 | 30000 | 31447048 | B450C | 15.00 |

Coeff. di omogeneizzazione cls tesoro/compresso 1.00

| Descrizione | $\gamma_{acciaio}$ [kN/mc] | E [kPa] |
|-------------|-------------------------------|------------|
| Paratia | 76,98 | 205942924 |

4.8. COMBINAZIONI DI CARICO

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n° 1 - SLU - STR (A1-M1-R1)

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.30 | |

Combinazione n° 2 - SLV - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 3 - SLU - GEO (A2-M2-R1)

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 4 - SLV - GEO (A2-M2-R1)

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 5 - SLE - Rara

PROGETTAZIONE ATI:

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 6 - SLE - Frequente

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 7 - SLE - Quasi permanente

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

Combinazione n° 8 - SLD

| Condizione | Fav/Sfav | γ | Ψ |
|----------------|----------|----------|--------|
| Spinta terreno | SFAV | 1.00 | |

4.9. NORMATIVA

4.9.1. IMPOSTAZIONI DI PROGETTO

Spinte e verifiche secondo: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (17/01/2018)**

4.9.1.1. 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 |
| Permanenti ns | Favorevole | γ_{Gfav} | 0.80 | 0.80 | 0.00 | 0.00 |
| Permanenti ns | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.50 | 1.30 | 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 |
| Variabili da traffico | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili da traffico | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.35 | 1.15 | 1.00 | 1.00 |

4.9.1.2. 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 | 1.00 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 | 1.00 | 1.00 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

4.9.1.3. TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza **R3**
Laterale γ_{st} 1,20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate 2 $\xi_3=1,75$ $\xi_4=1,70$

Verifica materiali: Stato Limite

PROGETTAZIONE ATI:

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

| | |
|---|------|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo | 1.50 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 |
| Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza per la sezione | 1.00 |

Verifica Taglio

Sezione in c.a.

$$V_{Rcd} = 0.9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yk} (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \text{sen} \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d b_w \alpha_c v f_{cd} \frac{\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta}{1 + \text{ctg}^2 \theta}$$

con:

| | |
|-----------------|--|
| d | altezza utile sezione [mm] |
| b _w | larghezza minima sezione [mm] |
| A _{sw} | area armatura trasversale [mm ²] |
| s | interasse tra due armature trasversali consecutive [mm] |
| α _c | coefficiente maggiorativo, funzione di f _{cd} e σ _{cp} |
| σ _{cp} | tensione media di compressione [N/mm ²] |
| v=0.5 | |

Impostazioni verifiche SLE

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Condizioni ambientali | Ordinarie |
| Armatura ad aderenza migliorata | |

Verifica a fessurazione

| | |
|--|---|
| Sensibilità delle armature | Poco sensibile |
| Valori limite delle aperture delle fessure | w ₁ = 0.20 w ₂ = 0.30 w ₃ = 0.40 |
| Metodo di calcolo aperture delle fessure | NTC 2018 - C4.1.2.2.4.5 |
| Calcolo momento fessurazione | Apertura |
| Resistenza a trazione per | Flessione |

Verifica delle tensioni

| | | |
|------------------------|------------------|---|
| Combinazione di carico | Rara | σ _c < 0.60 f _{ck} - σ _f < 0.80 f _{yk} |
| | Quasi permanente | σ _c < 0.45 f _{ck} - σ _f < 1.00 f _{yk} |
| | Frequente | σ _c < 1.00 f _{ck} - σ _f < 1.00 f _{yk} |

Verifica materiali: Stato Limite

4.9.2. IMPOSTAZIONI VERIFICHE SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

| | |
|---|------|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo | 1.50 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 |
| Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 |

PROGETTAZIONE ATI:

4.9.5. IMPOSTAZIONI ANALISI SISMICA

Identificazione del sito

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Latitudine | 43.647857 |
| Longitudine | 12.337754 |
| Comune | Mercatello Sul Metauro |
| Provincia | Pesaro e Urbino |
| Regione | Marche |
| Punti di interpolazione del reticolo | 20740 - 20741 - 20519 - 20518 |

Tipo di opera

| | |
|---------------------|--|
| Tipo di costruzione | Opera di importanza strategica |
| Vita nominale | 100 anni |
| Classe d'uso | IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose |
| Vita di riferimento | 200 anni |

| Combinazioni/Fase | SLU | SLE |
|--|-------------|-------------|
| Accelerazione al suolo [m/s ²] | 3.028 | 1.419 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F ₀ | 2.552 | 2.411 |
| Valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione T _c * [sec] | 0.332 | 0.302 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.000 | 1.000 |
| Tipo di sottosuolo | C | |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S _s) | 1.227 | 1.491 |
| Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α) | 0.934 | 0.934 |
| Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U _s [m] | 0.055 | 0.055 |
| Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β) | 0.599 | 0.599 |
| Prodotto α β | 0.560 > 0.2 | 0.560 > 0.2 |
| Coefficiente di intensità sismica [%] | 21.221 | 12.081 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (k _v) | 0.00 | |
| Coefficiente di riduzione (β _s) | 0.380 | 0.470 |
| Coefficiente di intensità sismica nella verifica di stabilità [%] | 14.397 | 10.138 |

Inerzia massa strutturale **Considerata**

Influenza sisma nella spinta attiva da monte

Forma diagramma incremento sismico: Triangolare con vertice in alto.

5. RISULTATI

5.1. ANALISI DELLA PARATIA

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 140 elementi fuori terra e 80 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incrementi di carico.

| | | |
|-----------------------------------|-------|-----|
| Altezza fuori terra della paratia | 7,00 | [m] |
| Profondità di infissione | 4,00 | [m] |
| Altezza totale della paratia | 11,00 | [m] |

5.1.1. FORZE AGENTI SULLA PARATIA

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

| | |
|------|---|
| n° | Indice della Combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Pa | Spinta attiva, espressa in [kN] |
| Is | Incremento sismico della spinta, espressa in [kN] |
| Pw | Spinta della falda, espressa in [kN] |
| Pp | Resistenza passiva, espressa in [kN] |
| Pc | Controspinta, espressa in [kN] |

| n° | Tipo | Pa [kN] | Y _{Pa} [m] | Is [kN] | Y _{Is} [m] | Pw [kN] | Y _{Pw} [m] | Pp [kN] | Y _{Pp} [m] | Pc [kN] | Y _{Pc} [m] |
|----|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| 1 | SLU - STR | 160,02 | 5,28 | -- | -- | 0,00 | 0,00 | -93,27 | 8,06 | 8,51 | 10,69 |
| 2 | SLV - STR | 105,62 | 5,38 | 396,71 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | -296,96 | 8,34 | 68,47 | 10,64 |
| 3 | SLU - GEO | 190,42 | 5,42 | -- | -- | 0,00 | 0,00 | -108,14 | 8,45 | 10,15 | 10,74 |
| 4 | SLV - GEO | 201,84 | 5,77 | 406,23 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | -279,02 | 8,99 | 30,57 | 10,81 |
| 5 | SLE - Rara | 93,73 | 5,12 | -- | -- | 0,00 | 0,00 | -43,94 | 8,23 | 0,45 | 10,88 |
| 6 | SLE - Frequente | 93,73 | 5,12 | -- | -- | 0,00 | 0,00 | -43,94 | 8,23 | 0,45 | 10,88 |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 93,73 | 5,12 | -- | -- | 0,00 | 0,00 | -43,94 | 8,23 | 0,45 | 10,88 |
| 8 | SLD | 104,15 | 5,28 | 130,62 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | -142,22 | 8,03 | 25,71 | 10,61 |

Simbologia adottata

| | |
|------|--|
| n° | Indice della Combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Rc | Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN] |
| Rt | Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN] |
| Rv | Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN] |
| Rp | Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN] |

| n° | Tipo | Rc [kN] | Y _{Rc} [m] | Rt [kN] | Y _{Rt} [m] | Rv [kN] | Y _{Rv} [m] | Rp [kN] | Y _{Rp} [m] |
|----|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| 1 | SLU - STR | 0,00 | 0,00 | 75,24 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | SLV - STR | 0,00 | 0,00 | 273,81 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | SLU - GEO | 0,00 | 0,00 | 92,41 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | SLV - GEO | 0,00 | 0,00 | 359,58 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | SLE - Rara | 0,00 | 0,00 | 50,23 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | SLE - Frequente | 0,00 | 0,00 | 50,23 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 0,00 | 0,00 | 50,23 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | SLD | 0,00 | 0,00 | 118,23 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Simbologia adottata

| | |
|--------------------|--|
| n° | Indice della Combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| P _{NUL} | Punto di nullo del diagramma, espresso in [m] |
| P _{INV} | Punto di inversione del diagramma, espresso in [m] |
| C _{ROT} | Punto Centro di rotazione, espresso in [m] |
| MP | Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%] |
| R/R _{MAX} | Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%] |

| n° | Tipo | P _{NUL} [m] | P _{INV} [m] | C _{ROT} [m] | MP [%] | R/R _{MAX} [%] |
|----|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | SLU - STR | 7,00 | 7,20 | 10,08 | 6,17 | 3,45 |
| 2 | SLV - STR | 7,01 | 8,40 | 9,92 | 35,80 | 14,18 |
| 3 | SLU - GEO | 7,07 | 8,10 | 10,21 | 27,16 | 8,66 |
| 4 | SLV - GEO | 7,28 | 9,50 | 10,42 | 62,96 | 26,89 |
| 5 | SLE - Rara | 7,00 | 7,00 | 10,64 | 0,00 | 3,02 |
| 6 | SLE - Frequente | 7,00 | 7,00 | 10,64 | 0,00 | 3,02 |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 7,00 | 7,00 | 10,64 | 0,00 | 3,02 |

PROGETTAZIONE ATI:

| n° | Tipo | P _{NUL} [m] | P _{INV} [m] | C _{ROT} [m] | MP [%] | R/R _{MAX} [%] |
|----|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| 8 | SLD | 7,00 | 7,50 | 9,84 | 12,35 | 6,14 |

Verifiche geotecniche

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della Combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| P _{P,med} , P _{P,min} | Portanza di punta media e minima, espressa in [kN] |
| P _{L,med} , P _{L,min} | Portanza laterale media e minima, espressa in [kN] |
| P _d | Portanza di progetto, espressa in [kN] |
| N | Sforzo normale alla base del palo, espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto Pd/N) |

| n° | Tipo | P _{P,med} [kN] | P _{L,med} [kN] | P _{P,min} [kN] | P _{L,min} [kN] | P _d [kN] | N [kN] | FS |
|----|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|-----------|-------|
| 1 | SLU - STR | 5492,68 | 269,10 | 2769,52 | 219,98 | 1319,29 | 238,61 | 5.529 |
| 2 | SLV - STR | 5492,68 | 269,10 | 2769,52 | 219,98 | 1319,29 | 309,34 | 4.265 |

6. VERIFICHE GEOTECNICHE

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della Combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| P _{P,med} , P _{P,min} | Portanza di punta media e minima, espressa in [kN] |
| P _{L,med} , P _{L,min} | Portanza laterale media e minima, espressa in [kN] |
| P _d | Portanza di progetto, espressa in [kN] |
| N | Sforzo normale alla base del palo, espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto Pd/N) |

| n° | Tipo | P _{P,med} [kN] | P _{L,med} [kN] | P _{P,min} [kN] | P _{L,min} [kN] | P _d [kN] | N [kN] | FS |
|----|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|-----------|-------|
| 1 | SLU - STR | 4715,36 | 154,28 | 2344,20 | 126,13 | 1085,95 | 232,48 | 4.671 |
| 2 | SLV - STR | 4715,36 | 154,28 | 2344,20 | 126,13 | 1085,95 | 437,02 | 2.485 |

6.1. VALORI MASSIMI E MINIMI SOLLECITAZIONI PER METRO DI PARATIA

Simbologia adottata

| | |
|------|---|
| n° | Indice della combinazione/fase |
| Tipo | Tipo della combinazione/fase |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m] |
| M | momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm] |
| N | sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione) |
| T | taglio massimo e minimo espresso in [kN] |

| n° | Tipo | M [kNm] | Y _M [m] | T [kN] | Y _T [m] | N [kN] | Y _N [m] | |
|----|------------------------|------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----|
| 1 | SLU - STR | 10,45 | 9,15 | 84,77 | 7,00 | 167,03 | 11,00 | MAX |
| | | -119,29 | 5,45 | -68,97 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 2 | SLV - STR | 104,83 | 8,80 | 217,05 | 7,00 | 216,54 | 11,00 | MAX |
| | | -301,65 | 5,25 | -218,11 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 3 | SLU - GEO | 10,74 | 9,40 | 97,99 | 7,05 | 171,31 | 11,00 | MAX |
| | | -175,76 | 5,75 | -85,93 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 4 | SLV - GEO | 47,95 | 2,45 | 237,73 | 7,25 | 237,92 | 11,00 | MAX |
| | | -538,19 | 5,75 | -301,30 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 5 | SLE - Rara | 3,79 | 2,45 | 43,49 | 7,00 | 160,79 | 11,00 | MAX |
| | | -80,85 | 5,50 | -46,35 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 6 | SLE - Frequente | 3,79 | 2,45 | 43,49 | 7,00 | 160,79 | 11,00 | MAX |
| | | -80,85 | 5,50 | -46,35 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 3,79 | 2,45 | 43,49 | 7,00 | 160,79 | 11,00 | MAX |
| | | -80,85 | 5,50 | -46,35 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |
| 8 | SLD | 44,26 | 8,60 | 110,00 | 7,00 | 177,75 | 11,00 | MAX |
| | | -133,18 | 5,15 | -96,66 | 2,45 | 0,00 | 0,00 | MIN |

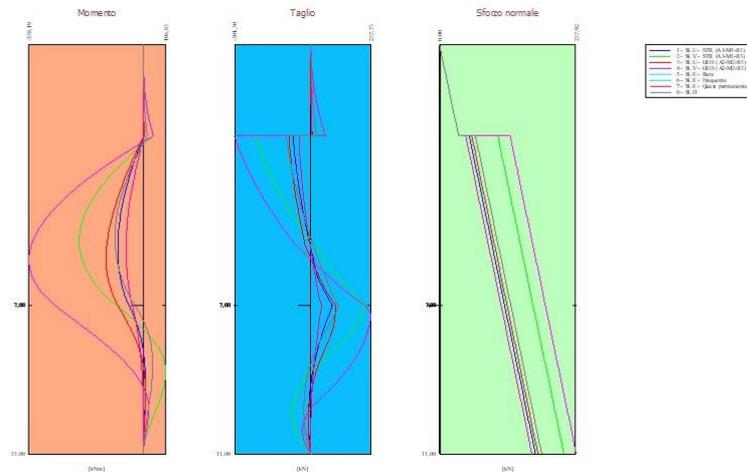


Fig. 4 - Sollecitazioni (Inviluppo)

6.2. SPOSTAMENTI MASSIMI E MINIMI DELLA PARATIA

Simbologia adottata

| | |
|------|---|
| n° | Indice della combinazione/fase |
| Tipo | Tipo della combinazione/fase |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m] |
| U | spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle |
| V | spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso |

| n° | Tipo | U [cm] | Yu [m] | V [cm] | Yv [m] | |
|----|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| 1 | SLU - STR | 0,1898 | 0,00 | 0,0056 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0350 | 11,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 2 | SLV - STR | 1,9228 | 0,00 | 0,0081 | 0,00 | MAX |
| | | -0,2414 | 11,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 3 | SLU - GEO | 0,3153 | 0,00 | 0,0059 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0486 | 11,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 4 | SLV - GEO | 2,5093 | 0,00 | 0,0092 | 0,00 | MAX |
| | | -0,1999 | 11,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 5 | SLE - Rara | 0,0501 | 5,65 | 0,0053 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0194 | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 6 | SLE - Frequente | 0,0501 | 5,65 | 0,0053 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0194 | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 0,0501 | 5,65 | 0,0053 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0194 | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |
| 8 | SLD | 0,5867 | 0,00 | 0,0062 | 0,00 | MAX |
| | | -0,0839 | 11,00 | 0,0000 | 0,00 | MIN |



Fig. 5 - Spostamenti (Inviluppo)

Verifica a spostamento

Simbologia adottata

| | |
|------------------|--|
| n° | Indice combinazione/Fase |
| Tipo | Tipo combinazione/Fase |
| U _{lim} | spostamento orizzontale limite, espresso in [cm] |
| U | spostamento orizzontale calcolato, espresso in [cm] (positivo verso valle) |

| n° | Tipo | U _{lim} [cm] | U [cm] |
|----|------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 | SLU - STR | 5,5000 | 0,1898 |
| 2 | SLV - STR | 5,5000 | 1,9228 |
| 3 | SLU - GEO | 5,5000 | 0,3153 |
| 4 | SLV - GEO | 5,5000 | 2,5093 |
| 5 | SLE - Rara | 5,5000 | 0,0501 |
| 6 | SLE - Frequente | 5,5000 | 0,0501 |
| 7 | SLE - Quasi permanente | 5,5000 | 0,0501 |
| 8 | SLD | 5,5000 | 0,5867 |

6.3. VERIFICHE DI CORPO RIGIDO

Simbologia adottata

| | |
|-------------------|--|
| n° | Indice della combinazione/fase |
| Tipo | Tipo della combinazione/fase |
| S | Spinta attiva da monte (risultante diagramma delle pressioni attive da monte) espressa in [kN] |
| R | Resistenza passiva da valle (risultante diagramma delle pressioni passive da valle) espresso in [kN] |
| W | Spinta netta falda (positiva da monte verso valle), espresso in [kN] |
| T | Reazione tiranti espresso in [kN] |
| P | Reazione puntoni espresso in [kN] |
| V | Reazione vincoli espresso in [kN] |
| C | Risultante carichi applicati sulla paratia (positiva da monte verso valle) espresso in [kN] |
| Y | Punto di applicazione, espresso in [m] |
| Mr | Momento ribaltante, espresso in [kNm] |
| Ms | Momento stabilizzante, espresso in [kNm] |
| FS _{RIB} | Fattore di sicurezza a ribaltamento |
| FS _{SCO} | Fattore di sicurezza a scorrimento |

I punti di applicazione delle azioni sono riferiti alla testa della paratia.
 La verifica a ribaltamento viene eseguita rispetto al centro di rotazione posto alla base del palo.

| n° | Tipo | S Y | R Y | W Y | T Y | P Y | V Y | C Y | Mr | Ms | FS _{RIB} | FS _{SCO} |
|----|-----------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | | |
| 4 | SLV - GEO | 896,4913 6,50 | 835,8804 9,51 | 0,0000 0,00 | 359,5786 2,45 | 0,0000 0,00 | 0,0000 0,00 | 0,0000 0,00 | 4036,4695 | 4323,7999 | 1.071 | 1.333 |

PROGETTAZIONE ATI:

6.4. STABILITÀ GLOBALE

Simbologia adottata

| | |
|------------------------------------|--|
| n° | Indice della combinazione/fase |
| Tipo | Tipo della combinazione/fase |
| (X _c ; Y _c) | Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m] |
| R | Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m] |
| (X _v ; Y _v) | Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m] |
| (X _m ; Y _m) | Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m] |
| FS | Coefficiente di sicurezza |
| R | Coefficiente di sicurezza richiesto |

Numero di cerchi analizzati 100

| n° | Tipo | X _c , Y _c [m] | R [m] | X _v , Y _v [m] | X _m , Y _m [m] | FS | R |
|----|-----------|--|----------|--|--|-------|-------|
| 3 | SLU - GEO | 0,00; 8,80 | 19,80 | -11,95; -6,99 | 19,79; 8,17 | 1.588 | 1.100 |
| 4 | SLV - GEO | 0,00; 8,80 | 19,80 | -11,95; -6,99 | 19,79; 8,17 | 1.654 | 1.200 |
| 8 | SLD | 0,00; 8,80 | 19,80 | -11,95; -6,99 | 19,79; 8,17 | 1.692 | 1.200 |

6.4.1. DETTAGLI SUPERFICIE CON FATTORE DI SICUREZZA MINIMO

Simbologia adottata

| | |
|----------|---|
| N° | numero d'ordine della striscia |
| W | peso della striscia espresso in [kN] |
| α | angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario) |
| φ | angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia |
| c | coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa] |
| b | larghezza della striscia espressa in [m] |
| L | sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα) |
| u | pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa] |
| Ctn, Ctt | contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN] |

Combinazione n° 3 - SLU - GEO

Numero di strisce 51

Caratteristiche delle strisce

| N° | W _i [kN] | α [°] | L [m] | φ [°] | c [kPa] | u [kPa] | (Ctn; Ctt) [kN] |
|----|------------------------|----------|----------|----------|------------|------------|--------------------|
| 1 | 3,5841 | -35.98 | 0,78 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 2 | 10,7495 | -33.76 | 0,76 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 3 | 17,3455 | -31.60 | 0,74 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 4 | 23,4121 | -29.49 | 0,72 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 5 | 28,9831 | -27.42 | 0,71 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 6 | 34,2026 | -25.39 | 0,70 | 30.17 | 16,0 | 0,8 | (0,00; 0,00) |
| 7 | 39,2130 | -23.39 | 0,68 | 30.17 | 16,0 | 3,6 | (0,00; 0,00) |
| 8 | 43,7768 | -21.42 | 0,68 | 30.17 | 16,0 | 6,2 | (0,00; 0,00) |
| 9 | 47,9046 | -19.48 | 0,67 | 30.17 | 16,0 | 8,5 | (0,00; 0,00) |
| 10 | 51,6126 | -17.56 | 0,66 | 30.17 | 16,0 | 10,5 | (0,00; 0,00) |
| 11 | 54,9147 | -15.66 | 0,65 | 30.17 | 16,0 | 12,4 | (0,00; 0,00) |
| 12 | 57,8228 | -13.78 | 0,65 | 30.17 | 16,0 | 14,0 | (0,00; 0,00) |
| 13 | 60,3471 | -11.91 | 0,64 | 30.17 | 16,0 | 15,4 | (0,00; 0,00) |
| 14 | 62,4959 | -10.06 | 0,64 | 30.17 | 16,0 | 16,6 | (0,00; 0,00) |
| 15 | 64,2764 | -8.22 | 0,64 | 30.17 | 16,0 | 17,6 | (0,00; 0,00) |
| 16 | 65,6942 | -6.38 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 18,4 | (0,00; 0,00) |
| 17 | 66,7537 | -4.55 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 19,0 | (0,00; 0,00) |
| 18 | 67,4583 | -2.73 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 19,4 | (0,00; 0,00) |
| 19 | 67,8100 | -0.91 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 19,6 | (0,00; 0,00) |
| 20 | 153,2889 | 0.89 | 0,62 | 30.17 | 16,0 | 19,6 | (0,00; 0,00) |
| 21 | 152,9540 | 2.69 | 0,62 | 30.17 | 16,0 | 19,4 | (0,00; 0,00) |
| 22 | 152,2834 | 4.48 | 0,62 | 30.17 | 16,0 | 19,0 | (0,00; 0,00) |
| 23 | 151,2750 | 6.28 | 0,62 | 30.17 | 16,0 | 18,4 | (0,00; 0,00) |
| 24 | 149,9258 | 8.08 | 0,62 | 30.17 | 16,0 | 17,7 | (0,00; 0,00) |
| 25 | 149,3558 | 9.89 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 16,7 | (0,00; 0,00) |
| 26 | 152,1233 | 11.72 | 0,63 | 30.17 | 16,0 | 15,5 | (0,00; 0,00) |
| 27 | 154,8220 | 13.55 | 0,64 | 30.17 | 16,0 | 14,2 | (0,00; 0,00) |
| 28 | 157,1565 | 15.40 | 0,64 | 30.17 | 16,0 | 12,6 | (0,00; 0,00) |
| 29 | 159,1173 | 17.26 | 0,65 | 30.17 | 16,0 | 10,8 | (0,00; 0,00) |
| 30 | 160,6937 | 19.15 | 0,65 | 30.17 | 16,0 | 8,8 | (0,00; 0,00) |
| 31 | 161,8729 | 21.05 | 0,66 | 30.17 | 16,0 | 6,6 | (0,00; 0,00) |
| 32 | 162,6401 | 22.98 | 0,67 | 30.17 | 16,0 | 4,2 | (0,00; 0,00) |
| 33 | 162,9781 | 24.94 | 0,68 | 30.17 | 16,0 | 1,5 | (0,00; 0,00) |
| 34 | 163,0528 | 26.93 | 0,69 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 35 | 162,8745 | 28.96 | 0,71 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 36 | 162,2317 | 31.03 | 0,72 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |

PROGETTAZIONE ATI:

| N° | W _i [kN] | α [°] | L [m] | φ [°] | c [kPa] | u [kPa] | (C _{tn} ; C _{tt}) [kN] |
|----|------------------------|----------|----------|----------|------------|------------|--|
| 37 | 160,3600 | 33.14 | 0,74 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 38 | 154,1400 | 35.31 | 0,76 | 30.17 | 16,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 39 | 147,2473 | 37.53 | 0,78 | 25.74 | 12,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 40 | 141,2794 | 39.82 | 0,81 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 41 | 138,4580 | 42.20 | 0,83 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (34,33; 22,98) |
| 42 | 136,2781 | 44.66 | 0,87 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 43 | 133,4298 | 47.24 | 0,91 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 44 | 129,8118 | 49.95 | 0,96 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 45 | 125,2874 | 52.82 | 1,02 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 46 | 119,6644 | 55.90 | 1,10 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 47 | 112,6569 | 59.24 | 1,21 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 48 | 103,8039 | 62.96 | 1,36 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 49 | 92,2596 | 67.24 | 1,60 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 50 | 76,0479 | 72.54 | 2,06 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |
| 51 | 42,2399 | 81.85 | 4,36 | 21.32 | 8,0 | 0,0 | (0,00; 0,00) |

Resistenza a taglio paratia = 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 5349,9675$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1853,1136$ [kN]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 2475,5298$ [kN]

$\Sigma c_b / \cos \alpha_i = 552,5893$ [kN]

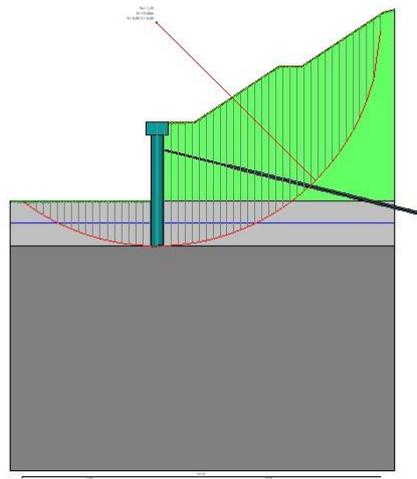


Fig. 5 - Stabilità globale (Combinazione n° 3)

7. RISULTATI TIRANTI

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---|
| N | sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN] |
| A _t | area di armatura in ogni tirante espressa in [cm ²] |
| L | lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m] |
| L _f | lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m] |
| σ _t | tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa] |
| u | spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm] |
| R1, R2, R3 | resistenza nei tre meccanismi considerati (sfilamento della fondazione, aderenza malta-armatura, resistenza malta) espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto min(R1, R2, R3)/N) |

| n° | N [kN] | A _f [cm ²] | L _f [m] | L [m] | σ _t [kPa] | u [cm] | R1 [kN] | R2 [kN] | R3 [kN] | FS | cmb |
|----|-----------|--------------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------|-----------|------------|------------|------------|-------|-----|
| 1 | 152,31 | 5,56 | 18,10 | 24,00 | 273947 | 0,48219 | 153,06 | 1202,04 | 6133,86 | 1.005 | 8 |

8. VERIFICA ARMATURA PARATIA (SEZIONI CRITICHE)

PROGETTAZIONE ATI:

8.1. VERIFICA A FLESSIONE

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| n° | numero d'ordine della sezione |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m] |
| A _r | area di armatura del palo espressa in [cmq] |
| M | momento flettente agente sul palo espresso in [kNm] |
| N | sforzio normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione) |
| M _u | momento ultimo di riferimento espresso in [kNm] |
| N _u | sforzio normale ultimo di riferimento espresso in [kN] |
| FS | coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio) |

| Y [m] | n° - Tipo | A _r [cmq] | M [kNm] | N [kN] | M _u [kNm] | N _u [kN] | FS |
|----------|---------------|-------------------------|------------|-----------|-------------------------|------------------------|-------|
| 5,35 | 1 - SLU - STR | 53,22 | -170,16 | 129,82 | -1002,00 | 764,42 | 5.888 |
| 5,25 | 2 - SLV - STR | 53,22 | -430,93 | 198,62 | -905,71 | 417,45 | 2.102 |
| 5,65 | 3 - SLU - GEO | 53,22 | -250,80 | 141,71 | -936,74 | 529,27 | 3.735 |
| 5,75 | 4 - SLV - GEO | 53,22 | -768,84 | 238,80 | -864,36 | 268,46 | 1.124 |

8.2. VERIFICA A TAGLIO

Simbologia adottata

| | |
|-----------------|--|
| n° | numero d'ordine della sezione |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m] |
| A _{sw} | area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq] |
| s | interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm] |
| V _{Ed} | taglio agente sul palo, espresso in [kN] |
| V _{Rd} | taglio resistente, espresso in [kN] |
| FS | coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} /V _{Ed}) |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 85,36 cm

| Y [m] | n° - Tipo | A _{sw} [cmq] | s [cm] | V _{Ed} [kN] | V _{Rd} [kN] | FS | cotgθ |
|----------|---------------|--------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| 7,00 | 1 - SLU - STR | 2,26 | 17,00 | 121,09 | 912,05 | 7.532 | 2,50 |
| 2,45 | 2 - SLV - STR | 2,26 | 17,00 | -311,58 | 912,05 | 2.927 | 2,50 |
| 7,05 | 3 - SLU - GEO | 2,26 | 17,00 | 139,99 | 912,05 | 6.515 | 2,50 |
| 2,45 | 4 - SLV - GEO | 2,26 | 17,00 | -430,43 | 912,05 | 2.119 | 2,50 |

8.3. VERIFICA TENSIONI

Simbologia adottata

| | |
|------------------|---|
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Oggetto | Muro/Paratia |
| Y | Ordinata sezione, espresso in [m] |
| M | Momento agente, espresso in [kNm] |
| M _r | Momento prima fessurazione, espresso in [kNm] |
| s | Distanza media tra le fessure, espressa in [mm] |
| ε _{sm} | Deformazione nelle fessure, espressa in [%] |
| W _{lim} | Apertura limite fessure, espressa in [mm] |
| W _k | Ampiezza fessure, espressa in [mm] |

| Oggetto | Tipo | Y [m] | M [kNm] | M _r [kNm] | s [mm] | ε _{sm} [%] | W _{lim} [mm] | W _k [mm] |
|---------|------------------------|----------|------------|-------------------------|-----------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Paratia | SLE - Frequente | 5,50 | -115,50 | -352,92 | 0,000 | 0,0000 | 0,400 | 0,000 |
| Paratia | SLE - Quasi permanente | 5,50 | -115,50 | -352,92 | 0,000 | 0,0000 | 0,300 | 0,000 |
| Paratia | SLD | 5,15 | -190,26 | -355,16 | 0,000 | 0,0000 | 0,300 | 0,000 |

8.4. VERIFICA FESSURAZIONE

Simbologia adottata

| | |
|------------------|---|
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Oggetto | Muro/Paratia |
| Y | Ordinata sezione, espresso in [m] |
| M | Momento agente, espresso in [kNm] |
| M _r | Momento prima fessurazione, espresso in [kNm] |
| s | Distanza media tra le fessure, espressa in [mm] |
| ε _{sm} | Deformazione nelle fessure, espressa in [%] |
| W _{lim} | Apertura limite fessure, espressa in [mm] |
| W _k | Ampiezza fessure, espressa in [mm] |

PROGETTAZIONE ATI:

| Oggetto | Tipo | Y | M | M _r | S | δ _{sm} | W _{lim} | W _k |
|---------|------------------------|------|---------|----------------|-------|-----------------|------------------|----------------|
| | | [m] | [kNm] | [kNm] | [mm] | [%] | [mm] | [mm] |
| Paratia | SLE - Frequente | 4,60 | -128,96 | -365,32 | 0,000 | 0.0000 | 0,400 | 0,000 |
| Paratia | SLE - Quasi permanente | 4,60 | -128,96 | -365,32 | 0,000 | 0.0000 | 0,300 | 0,000 |
| Paratia | SLD | 4,50 | -284,30 | -374,13 | 0,000 | 0.0000 | 0,300 | 0,000 |

8.5. VERIFICA ARMATURA PARATIA (INVILUPPO SEZIONI CRITICHE)

8.5.1. VERIFICA A FLESSIONE

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| n° | numero d'ordine della sezione |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m] |
| A _t | area di armatura del palo espressa in [cmq] |
| M | momento flettente agente sul palo espresso in [kNm] |
| N | sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione) |
| M _u | momento ultimo di riferimento espresso in [kNm] |
| N _u | sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN] |
| F _s | coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio) |

| n° - Tipo | Y | A _f | M | N | M _u | N _u | F _S |
|---------------|------|----------------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|
| | [m] | [cmq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 4 - SLV - GEO | 5,75 | 53,22 | -768,84 | 238,80 | -864,36 | 268,46 | 1.124 |

8.5.2. VERIFICA A TAGLIO

Simbologia adottata

| | |
|-----------------|--|
| n° | numero d'ordine della sezione |
| Tipo | Tipo della Combinazione/Fase |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m] |
| A _{sw} | area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq] |
| s | interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm] |
| V _{Ed} | taglio agente sul palo, espresso in [kN] |
| V _{Rd} | taglio resistente, espresso in [kN] |
| F _S | coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} /V _{Ed}) |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ |

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 85,36 cm

| n° - Tipo | Y | A _{sw} | s | V _{Ed} | V _{Rd} | F _S | cotgθ |
|---------------|------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
| | [m] | [cmq] | [cm] | [kN] | [kN] | | |
| 4 - SLV - GEO | 2,45 | 2,26 | 17,00 | -430,43 | 912,05 | 2.119 | 2,50 |

8.6. VERIFICA TENSIONI

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| n° | numero d'ordine della sezione |
| Y | ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m] |
| A _f | area di armatura espressa in [cmq] |
| σ _c | tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa] |
| σ _t | tensione nell'acciaio espressa in [kPa] |

| A _f | σ _c | cmb | σ _t | cmb |
|----------------|----------------|-----|----------------|-----|
| [cmq] | [kPa] | | [kPa] | |
| 53,22 | 3614 | 8 | 102133 | 8 |

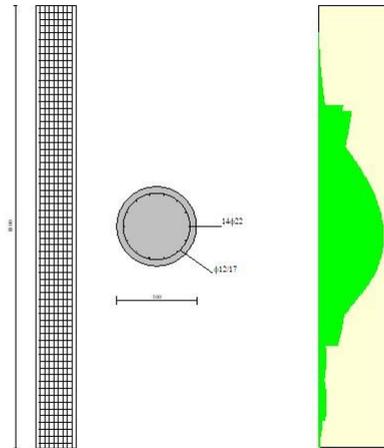


Fig. 6 - Armature - verifiche SLU

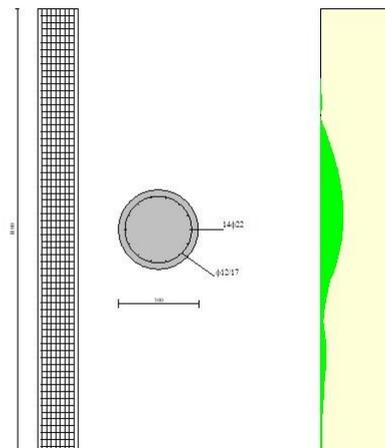


Fig. 7 - Armature - verifiche SLE

8.7. VERIFICA SEZIONE CORDOLI

Simbologia adottata

| | |
|-------|---|
| M_h | momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale |
| T_h | taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale |
| M_v | momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale |
| T_v | taglio espresso in [kN] nel piano verticale |

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

| | | | |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| B=200,00 [cm] | H=120,00 [cm] | Staffe $\phi 12/7$ | Nbh=2 - Nbv=2 |
| A_{rh} =76,03 [cmq] | A_{rv} =68,42 [cmq] | FS=12.57 | |
| M_h =437,81 [kNm] | M_{vh} =5504,29 [kNm] | | |

PROGETTAZIONE ATI:

| | | | |
|-------------------|------------------------|-----------------|----------------------|
| $T_h=875,62$ [kN] | $T_{RH}=5160,92$ [kN] | $FS_I=5,89$ | $\cotg\theta_h=2,50$ |
| $M_v=42,37$ [kNm] | $M_{UV}=3177,24$ [kNm] | $FS=75,00$ | |
| $T_v=70,61$ [kN] | $T_R=3055,33$ [kN] | $FS_{TV}=43,27$ | $\cotg\theta_v=2,39$ |

Cordolo N° 2 (X=2,45 m) (Cordolo in acciaio)

| | | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------|
| $A=65,25$ [cmq] | $W=425,70$ [cm ³] | | |
| $M_h=64,72$ [kNm] | $T_h=215,75$ [kN] | $M_v=16,14$ [kNm] | $T_v=53,79$ [kN] |
| $\sigma_f = 152042$ [kPa] | $\tau_f = 33065$ [kPa] | $\sigma_{id} = 162470$ [kPa] | |

PROGETTAZIONE ATI:

9. DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (PUNTO 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto ing. giovanni suraci, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica non-lineare, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

| | |
|------------|---|
| Titolo | PAC - Analisi e Calcolo Paratie |
| Versione | 16.0 |
| Produttore | Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS) |
| Utente | STUDIO SURACI INGEGNERIA S.R.L. |
| Licenza | AIU6456Y8 |

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

Il progettista
(ing. giovanni suraci)
