

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



| | | |
|---------------------------------------|--------------------|--|
| PROGETTAZIONE: | PROGETTISTA: | DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE |
| RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI | Ing. Nicola CUOZZO | Ing. Piergiorgio GRASSO Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche |
| | | |

PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO- TELESE

GAO1 – GALLERIA ARTIFICIALE FONDOVALLE ISCLERO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

| | |
|--|--------|
| APPALTATORE | SCALA: |
| IMPRESA PIZZAROTTI & C. s.p.a. Dott. Ing. Sabino Del Balzo IL DIRETTORE TECNICO Ing. S. DEL BALZO 24/02/2020 | - |

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

| | | | | | | | |
|---------|-----|---|-----|-----|-------------|-------|---|
| I F 2 6 | 1 2 | E | Z Z | C L | G A 0 1 0 0 | 0 0 3 | A |
|---------|-----|---|-----|-----|-------------|-------|---|

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|-------------|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------------------|
| A | Emissione | S. Bushaj | 24/02/2020 | N. Cuzzo | 24/04/2020 | F. Rizzo | 24/02/2020 | Ing. Nicola Cuzzo 24/02/2020 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

n. Elab.:

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | GENERALITA' | 3 |
| 1.1 | FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA | 4 |
| 1.2 | UNITA' DI MISURA | 5 |
| 2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 6 |
| 2.1 | SOFTWARES IMPIEGATI | 6 |
| 2.2 | ELABORATI DI RIFERIMENTO | 6 |
| 3 | MATERIALI | 8 |
| 3.1 | ACCIAIO PALANCOLE | 8 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 8 |
| 5 | ANALISI DI PARATIE DI SOSTEGNO | 10 |
| 5.1 | MODELLAZIONE STRUTTURALE | 10 |
| 5.2 | MODELLAZIONE GEOTECNICA | 13 |
| 6 | ANALISI DEI CARICHI | 16 |
| 6.1 | G1: PESI PROPRI..... | 17 |
| 6.2 | Q1: SOVRACCARICHI MOBILI..... | 17 |
| 7 | COMBINAZIONI DI CARICO | 18 |
| | FASI DI CALCOLO | 22 |
| 7.1 | SEZIONE DI CALCOLO..... | 22 |
| 7.1.1 | RISULTATI ANALISI SEZIONE 1 – PALI..... | 23 |
| 7.1.2 | VERIFICA PALANCOLA..... | 27 |

1 GENERALITA'

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici del Progetto Esecutivo (PE) per il Raddoppio dell'Itinerario Ferroviario Napoli-Bari nella Tratta Cancello-Benevento / 2° Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano e si occupa, in particolare, dell'analisi strutturale della Galleria Artificiale Telese, codificata a nome GA01.

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento alla Galleria artificiale, prevista sull'asse principale del tracciato di progetto, tra le pk 19+396.64 e 19+422.34 (Svincolo S.S. Fondo Valle Isclero - S.S. n° 265).

Per la costruzione dell'opera si rende necessario la realizzazione di una paratia provvisoria con palancole GPL700-7.

Palancole $s_p = 7\text{mm}$



Figura 1: Pianta

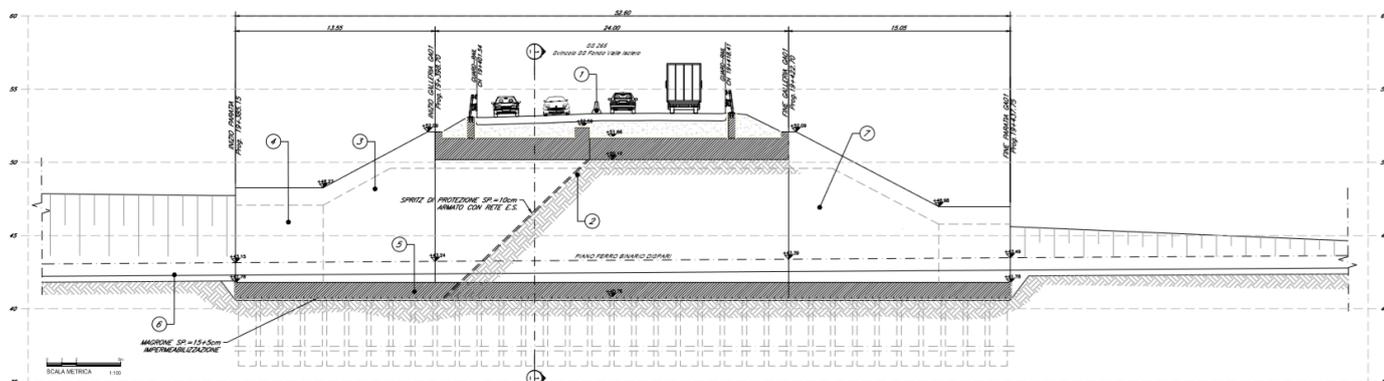


Figura 2: Sezione Longitudinale

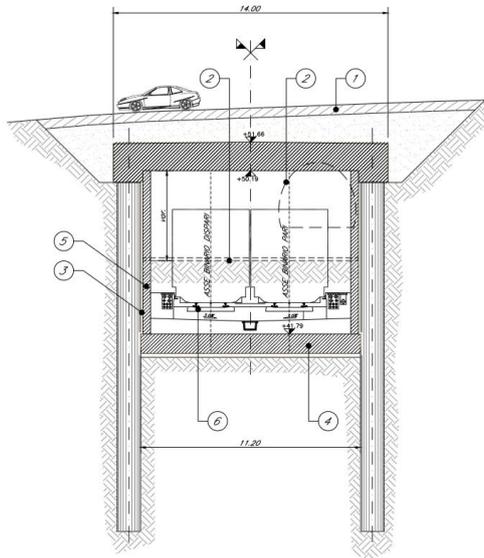


Figura 3: Sezione Trasversale

1.1 FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA

In considerazione degli obiettivi precedentemente descritti, le fasi costruttive adottate sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 1: Fasi costruttive

| FASE 1 - PARZIALIZZAZIONE TRAFFICO SU CORSIE NORD | | |
|--|---|------|
| ATTIVITA' | DESCRIZIONE | NOTE |
| 1 | Realizzazione del rilevato temporaneo a sud dello svincolo, per esecuzione pali e parziale riempimento del tombino esistente | |
| 2 | Pazializzazione del traffico e delimitazione area di cantiere | |
| 3 | Infissione delle palancole da piano stradale | |
| 4 | Dal piano strada, scavo fino a quota imposta soletta di copertura e realizzazione dei pali | |
| 5 | Posa armatura e getto porzione della soletta di copertura, con le predisposizioni dei ferri di ripresa per il getto di completamento da eseguirsi in fase 2 | |
| 6 | Impermeabilizzazione della soletta di copertura | |
| 7 | Installazione blocchi di contenimento del rilevato stradale | |
| 8 | Ritombamento, ripristino della pavimentazione, installazione delle barriere bordo ponte e della segnaletica stradale | |
| FASE 2 - PARZIALIZZAZIONE TRAFFICO SU CORSIE SUD | | |
| 9 | Pazializzazione del traffico e delimitazione area di cantiere | |
| 10 | Rimozione delle palancole da piano stradale infisse in fase 1 | |
| 11 | Infissione delle palancole nel tratto di corsia nord come indicato negli elaborati grafici | |
| 12 | Scavo fino a quota imposta soletta di copertura | |
| 13 | Realizzazione dei pali. | |
| 14 | Posa armatura e getto di completamento della restante porzione di soletta di copertura | |
| 15 | Impermeabilizzazione in soletta di copertura | |
| 16 | Rimozione della fila superficiale di blocchi di contenimento del rilevato stradale installati in fase 1 | |
| 17 | Rimozione delle palancole installate in fase 2 | |

**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO**

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|---------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 5 di 27 |

| | | |
|--|--|--|
| 18 | Ritombamento sopra la soletta di copertura, ripristino della pavimentazione, installazione delle barriere bordo ponte e della segnaletica stradale | |
| FASE 3 - COMPLETAMENTO DELLA GA01 | | |
| 19 | Esecuzione dello scavo sotto soletta di copertura fino a quota di imposta della fondazione e applicazione di 10cm spritz beton di regolarizzazione sui pali. | |
| 20 | Rimozione del tombino metallico esistente tipo Armco | |
| 21 | Costruzione della galleria GA01 | |
| 22 | Armamento ferroviario, impianti, rimodellazione del terreno e opere di finitura. | |

1.2 UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- lunghezze ⇒ m, mm
- carichi ⇒ kN, kN/m², kN/m³
- azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- tensioni ⇒ N/mm²

|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|------------|---|---------|
| Relazione di calcolo opere provvisionali | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GA0100 002</td> <td>A</td> <td>6 di 27</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 6 di 27 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 6 di 27 | | | | | | | | |

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 14 gennaio 2008, «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»
- Rif. [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AG MA IFS 001 A – rev 30/12/2016)
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [10] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea
- Rif. [11] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- Rif. [12] UNI 11104: Calcestruzzo : Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

2.1 SOFTWARES IMPIEGATI

Per la redazione del Progetto sono stati impiegati i seguenti softwares di calcolo:

- Paratie Plus 2017 – Versione XX.XX HarpaCeAS;
- SAP2000 Ultimate – Versione 21.0.2 Computers and Structures, Inc.
- RC-SEC – Versione xx.xx Geostru

2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l'insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all'opera in esame e riportati in elenco elaborati.

**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO**

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|---------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 7 di 27 |

- [1]. IF2612E ZYP9GA0100001 A - Planimetria stato attuale e progetto
- [2]. IF2612EZZB9GA0100001A - Pianta, profilo longitudinale e sezioni trasversali
- [3]. IF2612EZZP9GA0100002A - Pianta scavi, sezioni trasversali e tracciamento pali lato Canello
- [4]. IF2612EZZP9GA0100003A - Pianta scavi, sezioni trasversali e tracciamento pali lato Benevento - Tav 1 di 2
- [5]. IF2612EZZP9GA0100004A - Pianta scavi, sezioni trasversali e tracciamento pali lato Benevento - Tav. 2 di 2
- [6]. IF2612EZZPBGA0100001A - Planimetria di tracciamento opere provvisionali
- [7]. IF2612E ZZBBGA0100001A - Carpenteria - Sezione longitudinale
- [8]. IF2612EZZBBGA0100002A - Carpenteria - Pianta e sezioni trasversali
- [9]. IF2612EZZBBGA0100002A - Carpenteria - Pianta e sezione trasversale
- [10]. IF2612EZZBAGA0100001A - Fasi Realizzative ed opere provvisionali - Tav. 1 di 5
- [11]. IF2612EZZBAGA0100002A - Fasi Realizzative ed opere provvisionali - Tav. 2 di 5
- [12]. IF2612EZZBAGA0100003A - Fasi Realizzative ed opere provvisionali - Tav. 3 di 5
- [13]. IF2612E ZZBAGA0100004A - Fasi Realizzative ed opere provvisionali - Tav. 4 di 5
- [14]. IF2612EZZBAGA0100005 A - Fasi Realizzative ed opere provvisionali - Tav. 5 di 5

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|------------|---|---------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | |
| Relazione di calcolo opere provvisionali | <table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GA0100 002</td> <td>A</td> <td>8 di 27</td> </tr> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 8 di 27 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 8 di 27 | | | | | | | | |

3 MATERIALI

Nella Tabella che segue si riportano in sintesi le Classi dei materiali impiegati per l'analisi strutturale:

Tabella 2: Lista Materiali

| ELEMENTO | ACCIAIO IN BARRE A.M. |
|--------------------|-----------------------|
| Palancola GPL700-7 | S275 |

Le specifiche tecniche dei materiali sopra descritti sono ricavate nei seguenti paragrafi, dove il riferimento principale per le verifiche SLE è stato assunto nelle Prescrizioni del Manuale RFI Parte 2 – Sezione 2 – 2.5.1.8.3.2.1.

3.1 ACCIAIO PALANCOLE

| | | | |
|---------------------------|----------|--------|-------------------|
| tensione di snervamento | $f_y =$ | 275 | N/mm ² |
| tensione ultima a rottura | $f_u =$ | 430 | N/mm ² |
| resistenza di calcolo | f_{yd} | 261 | N/mm ² |
| Modulo di elasticità: | $E_r =$ | 210000 | N/mm ² |

Verifiche agli SLE:

| | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Combinazioni Caratteristiche | $\sigma_{smax} = 0,75 * f_{yk} =$ | 337,5 | N/mm ² |
|------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------|

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La definizione del modello geotecnico per il sottosuolo di riferimento è trattata diffusamente nella specifica sezione dedicata all'opera in esame nell'ambito del seguente documento di progetto:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Relazione geotecnica generale | I | F | 2 | 6 | 1 | 2 | E | Z | Z | R | B | G | E | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | A |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Il livello della falda rilevato è ubicato a profondità maggiori di 15 m dal p.c. e ad una distanza di 10 metri al di sotto delle quote del Piano del Ferro.

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo opere provvisionali

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|---------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 9 di 27 |

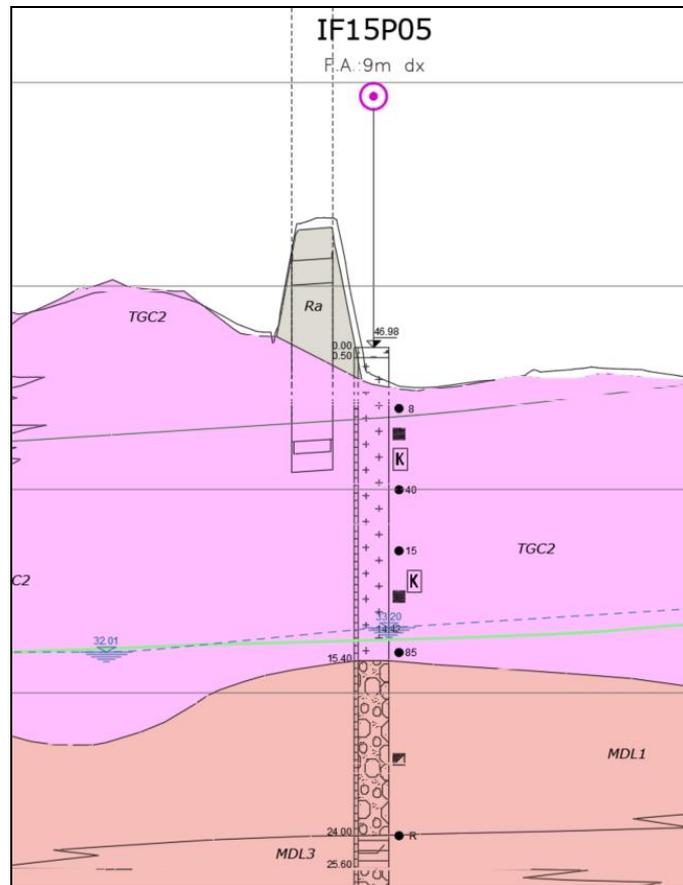


Figura 4: Profilo Geotecnico della Tratta

Si riporta di seguito, altresì, la stratigrafia adottata per la definizione delle azioni sulle strutture; la quota relativa 0.00 coincide con la quota del Piano Campagna (PC).

| MODELLO GEOTECNICO SEZ. 1 – P.k. 19+407,99 | | | | | | | |
|--|--|---------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-----|
| | Litotipo | Potenza | γ | c' | φ' | E' | |
| | | m | kN/m ³ | kN/m ² | ° | N/mm ² | |
| 0 | Terreno di Rinfiaccio e di Ricoprimento (Terreno da rilevato Stradale) | Ra | 6,6 | 19 | 0 | 35 | 70 |
| -10 | Tufo Grigio Campano (Cenere sabbiosa, sabbioso-limoso) | TGC2 | 15,3 | 18.5 | 0 | 33 | 35 |
| FALDA | Unità di Maddaloni – 1 (Ghiaia sabbiosa) | MDL1 | 8 | 20.0 | 0 | 38 | 120 |
| -15 | (Ghiaia sabbiosa) | | | | | | |
| -10,6 | (Ghiaia sabbiosa) | | | | | | |

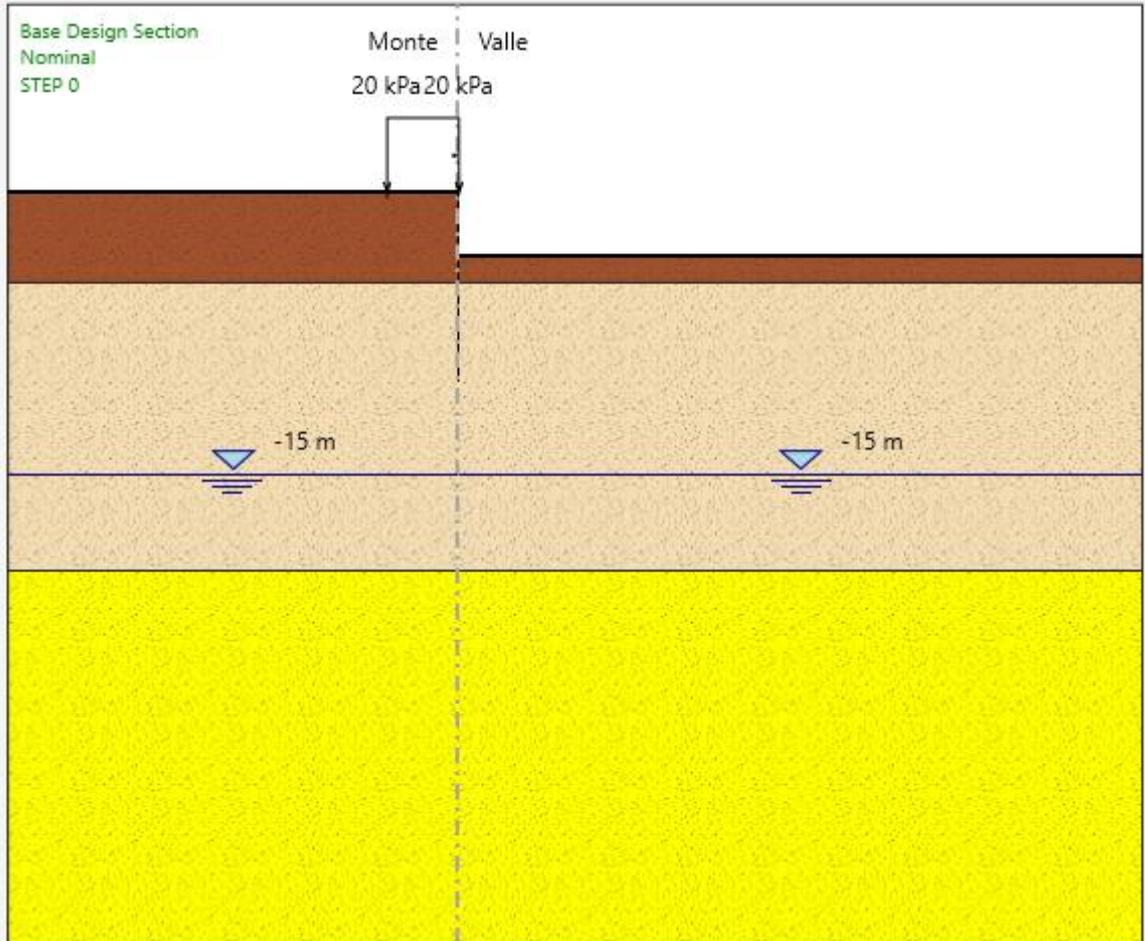
Le sezione di calcolo scelte a rappresentare la tratta viene dunque riportata nella seguente figura:

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 10 di 27 |

Sezione

$H_{scavo}=3,25m$ -
 $L_{palancola}=10m$



5 ANALISI DI PARATIE DI SOSTEGNO

5.1 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Le analisi finalizzate al dimensionamento delle strutture sono state condotte con il programma di calcolo "Paratie Plus 2017" della HarpaCeAS s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con molle a comportamento elasto-plastico che reagiscono elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 11 di 27 |

spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidezza ($K= E \cdot A/L$).

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

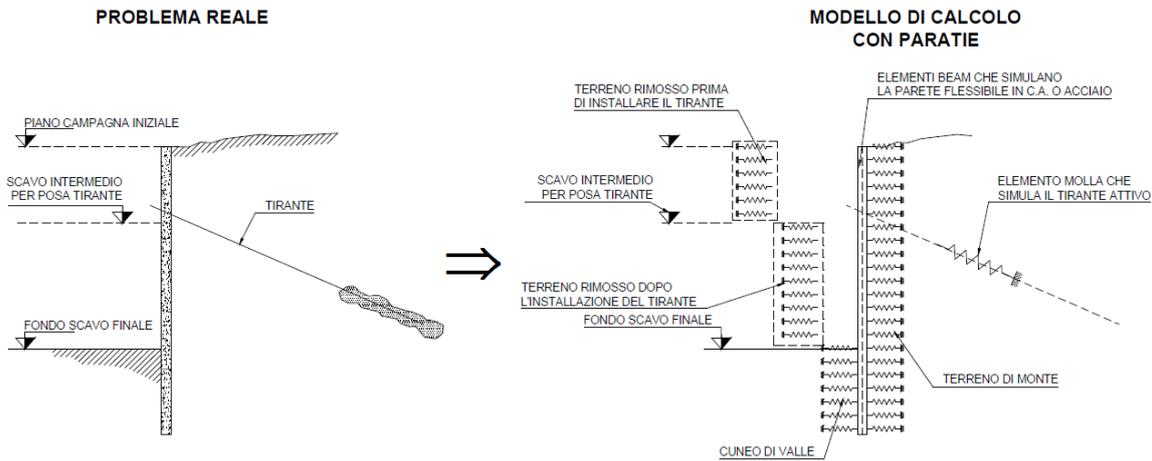


Figura 5: Modello di calcolo con Paratie Plus.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$S_{eq}^3 = \frac{12 \cdot J_p}{i_p}$$

dove:

- J_p inerzia della sezione del palo
- i_p interasse pali

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace σ'_h e la tensione verticale efficace σ'_v risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo k_a e quello passivo k_p , mentre quando il rapporto è proprio pari a uno dei due valori il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse, k , è data da:

$$k = E / L$$

ove

- E modulo di rigidità del terreno (Young)

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 12 di 27 |

L grandezza geometrica caratteristica

Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidità di ogni molla è:

$$K = \frac{E\Delta}{L}$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma e rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva.

Si è scelto, in zona attiva o Uphill:

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

mentre in zona passiva o Downhill:

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

dove ℓ_A ed ℓ_P e sono rispettivamente:

$$\ell_A = \min\{l, 2H\};$$

$$\ell_P = \min\{l - H, H\}$$

Con

- l = altezza totale della paratia
- H = altezza corrente dello scavo

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987).

Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Nello specifico dell'opera analizzata si è posto:

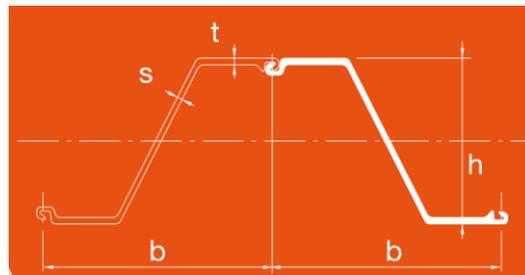


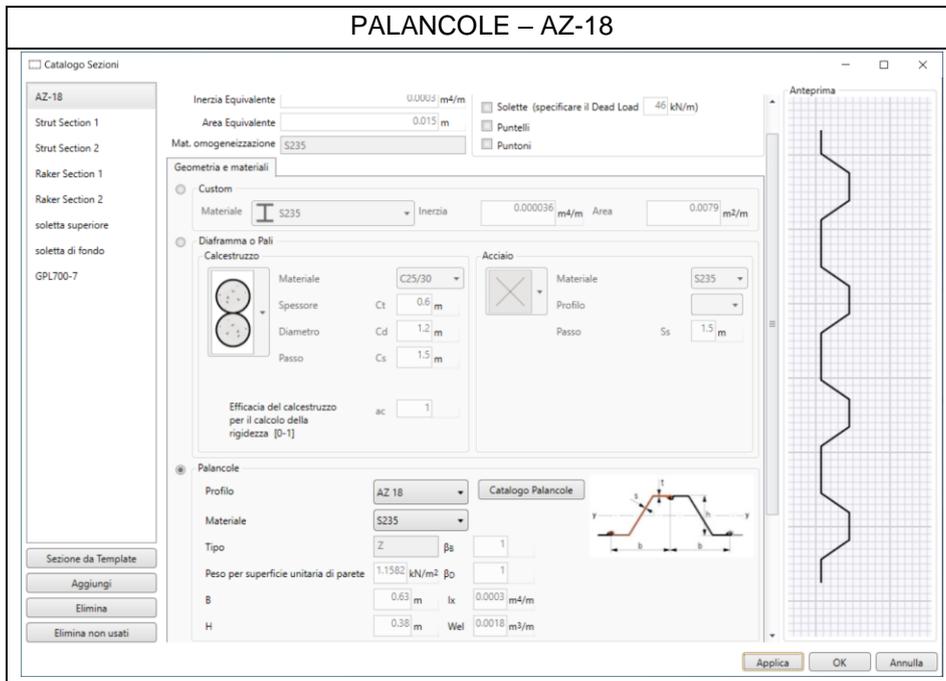
Figura 6: Palancole AZ-18

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 13 di 27 |

- s = 9,5 mm
- t = 9,5 mm
- b = 630 mm
- h = 380 mm
- Jp = 34200 cm⁴
- Mp = 1800 cm³
- Ep = 200000 N/mm²
- Palancola singola = 74,4 kg²/m
- Parete = 118 kg²/m²

La figura che segue mostra l'input delle grandezze di cui sopra nel programma di calcolo impiegato.



5.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA

Il programma impiegato richiede, ovviamente, la definizione di parametri geotecnici degli strati in cui è stato suddiviso il terreno al contorno dell'opera e che è stata già riportata nei paragrafi precedenti.

Il problema dell'interazione suolo-struttura consiste nel valutare il raggiungimento dello stato di equilibrio del terreno al variare delle deformazioni della struttura in quanto la tensione orizzontale σ'_h che lo scheletro solido del terreno esercita sulla parete verticale della struttura è funzione dello spostamento che essa subisce.

L'analisi di interazione ha inizio dallo stato indisturbato del terreno che è in equilibrio in condizioni litostatiche

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v \quad \text{pressione a riposo}$$

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo opere provvisionali

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 14 di 27 |

Secondo la relazione di Kulhawy [1989], il coefficiente di spinta a riposo dipende dalla resistenza del terreno e dal rapporto di sovraconsolidazione del terreno OCR secondo la seguente relazione:

$$K_0 = K_0^{nc} * OCR^m$$

dove:

- K_0^{nc} è il coefficiente di spinta a riposo per terreni normal-consolidati che secondo Jaky [1936] può essere posto pari a $K_0 = (1 - \tan \phi')$;
- m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0,40 e 0,70.

Con lo scavo, lo stato di equilibrio litostatico viene perturbato e le spinte variano in funzione dello spostamento:

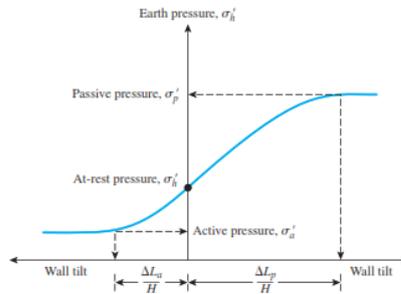


Figure 13.2 Variation of the magnitude of lateral earth pressure with wall tilt

Table 13.1 Typical Values of $\Delta L_a/H$ and $\Delta L_p/H$

| Soil type | $\Delta L_a/H$ | $\Delta L_p/H$ |
|------------|----------------|----------------|
| Loose sand | 0.001–0.002 | 0.01 |
| Dense sand | 0.0005–0.001 | 0.005 |
| Soft clay | 0.02 | 0.04 |
| Stiff clay | 0.01 | 0.02 |

La tensione σ'_h "attiva" sul paramento viene calcolata come:

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot (K_a)^{0,50} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

- K_a = coefficiente di spinta attiva;
- σ'_v = tensione verticale efficace alla generica profondità;
- c' = coesione efficace.

In condizioni statiche, K_a è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido ϕ' , dell'angolo di attrito fra struttura e terreno δ dell'inclinazione β del paramento di monte della struttura di sostegno e dell'inclinazione i del terrapieno a tergo dell'opera. Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di K_a , di seguito, si è fatto riferimento a quella di Coulomb, [1773] assumendo, per l'attrito terreno-struttura il valore

$$\delta \cong 0,60 \cdot \phi'$$

La tensione σ'_h "passiva" sul paramento viene, parimenti, calcolata come:

$$\sigma' h = K_p \cdot \sigma' v + 2 \cdot c' \cdot (K_p)^{0.50} \quad \text{pressione passiva}$$

dove: K_p = coefficiente di spinta passiva;

Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di K_p si è scelta la formulazione di Caquot-Kerisel [1948] con

$$\delta' \cong 0,60 \cdot \varphi'$$

Si assume comunque $\delta > \varphi' / 3$ in quanto, sperimentalmente, l'approccio del programma fornisce risultati più attendibili e confrontabili con i risultati di software geotecnici che usano formulazioni più raffinate.

La superficie potenziale di scorrimento del terreno è assimilabile in questi casi ad un arco di spirale logaritmica e non più ad una superficie piana. Tale coefficiente viene determinato dall'interpolazione polinomiale delle spirali logaritmiche fornite sperimentalmente da Caquot-Kerisel, 1948 e riportate in figura:

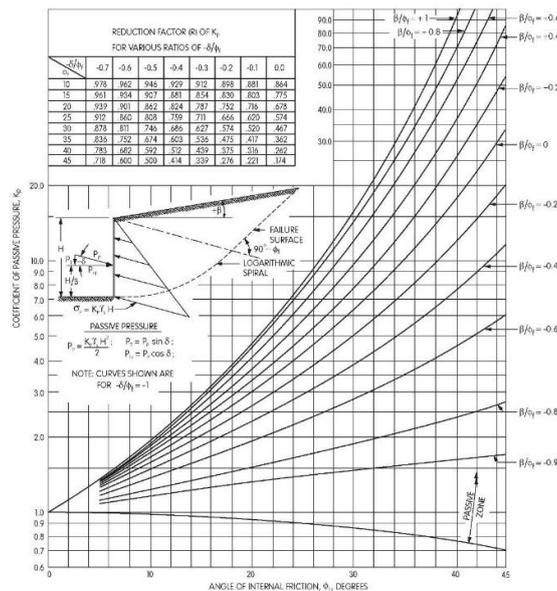


Figura 7: Coefficiente K_p [Caquot – Kerisel, 1948].

Il software utilizzato è in grado, dunque, in funzione del campo di spostamento risultante nei vari step di analisi, di risalire all'entità della spinta in ogni fase a partire dal valore iniziale di spinta a riposo.

Le rigidezze delle molle schematizzanti i vari strati di terreno sono proporzionali ai loro moduli elastici.

Il modulo di scarico-ricarico (E_{ur}) viene normalmente scelto tra 1,50÷3,00 volte quello di primo carico (E_{vc}).

Per strutture di sostegno alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua assumendo schemi di filtrazione idonei in funzione delle condizioni stratigrafiche ed al contorno. In presenza di falda, va ovviamente aggiunta la pressione idrostatica che alla generica profondità, può essere valutata come di seguito:

$$u = \gamma_w \cdot z$$

In definitiva, l'espressione generale per il calcolo della pressione verticale efficace alla generica profondità z , in caso di eventuale presenza di sovraccarichi sul piano limite e falda è la seguente:

**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO**

Relazione di calcolo opere provvisionali

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 17 di 27 |

6.1 G1: PESI PROPRI

| | | | |
|-------------------|--------------------------|-----|----|
| Palancola singola | $10 * 0,74\text{kN/m} =$ | 7,4 | kN |
|-------------------|--------------------------|-----|----|

6.2 Q1: SOVRACCARICHI MOBILI

| | | | |
|--------------|---|----|-------------------|
| Sovraccarico | - | 20 | kN/m ² |
|--------------|---|----|-------------------|

MODELLO GEOTECNICO SEZ. 1 – P.k. 19+407,99

| | Litotipo | | Potenza m | γ kN/m ³ | c' kN/m ² | φ' ° | E' N/mm ² |
|--------------|--|-------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 0 | Terreno di Rinfiaccio e di Ricoprimento (Terreno da rilevato Stradale) | Ra | 6,6 | 19 | 0 | 35 | 70 |
| -10 | Tufo Grigio Campano (Cenere sabbiosa, sabbioso-limosa) | TGC2 | 15,3 | 18.5 | 0 | 33 | 35 |
| FALDA -15 | Unità di Maddaloni – 1 (Ghiaia sabbiosa) | MDL1 | 8 | 20.0 | 0 | 38 | 120 |

| | | | | | | |
|--|--|---------|----------|------------|------|----------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Relazione di calcolo opere provvisionali | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 18 di 27 |

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione delle sollecitazioni di verifica, le azioni nominali descritte al precedente paragrafo, vanno combinate nei vari Stati Limite di verifica previsti (SLE, SLU, SIS) in accordo a quanto previsto al punto 2.5.3 delle NTC08:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

SLU Opere Stradali:

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| | | Coefficiente | FQU ⁽¹⁾ | A1 STR | A2 GEO |
|--|-------------|---|---------------------|---------------------|--------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Carichi variabili da traffico | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,35 | 1,35 | 1,15 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli | γ_{e1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,00 ⁽³⁾ | 1,00 ⁽⁴⁾ | 1,00 |
| Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari | favorevoli | $\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Figura 9: Tabella 5.1.V – NTC 2008

SLE Opere Ferroviarie:

**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO**

Relazione di calcolo opere provvisionali

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 19 di 27 |

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

| Azioni | | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|----------------------------|---|--------------|--------------|----------|
| Azioni singole da traffico | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| Gruppi di carico | gr_1 | $0,80^{(2)}$ | $0,80^{(1)}$ | 0,0 |
| | gr_2 | $0,80^{(2)}$ | $0,80^{(1)}$ | - |
| | gr_3 | $0,80^{(2)}$ | $0,80^{(1)}$ | 0,0 |
| | gr_4 | 1,00 | $1,00^{(1)}$ | 0,0 |
| Azioni del vento | Γ_{wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da neve | in fase di esecuzione | 0,80 | 0,0 | 0,0 |
| | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 10: Tabella 5.2.VI – NTC 2008

Le combinazioni allo Stato Limite Ultimo sono di seguito descritte ed analizzate in dettaglio.

| | | | | | | |
|--|--|---------|----------|------------|------|----------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Relazione di calcolo opere provvisionali | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 20 di 27 |

MATRICE COMBINAZIONI DEI CARICHI ALLO SLU PER LA SOLETTA DI FONDAZIONE

Matrice

| MCC_SLU | SLU_01 | SLE_02 |
|---------|----------|----------|
| | γ | γ |
| G1 | 1,35 | 1 |
| Q1 | 1,5 | 1 |

Alle precedenti matrici dei coefficienti di combinazione si affiancano i fattori parziali di sicurezza da applicare ai parametri geotecnici del terreno che, come da Normativa, possono seguire due Approcci (§ 6.5.3.1.2):

Approccio 1:

Fase Statica: A1+M1+R1 Combinazioni per le verifiche STR
 A2+M2+R1 Combinazioni per le verifiche GEO

Fase Sismica: A1+M1+R1 SIS-STR – Combinazioni per le verifiche STR in fase sismica

Approccio 2:

Fase Statica: A1+M1+R3 Combinazioni per le verifiche STR e GEO

Fase Sismica: A1+M1+R3 EQK-STR – Comb. per le verifiche STR in fase sismica

Le Tabelle seguenti definiscono i valori dei coefficienti da adottare:

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Figura 11: Tabella 6.2.II

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|------------|---|----------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | |
| Relazione di calcolo opere provvisionali | <table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GA0100 002</td> <td>A</td> <td>21 di 27</td> </tr> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 21 di 27 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 21 di 27 | | | | | | | | |

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

| VERIFICA | COEFFICIENTE PARZIALE (R1) | COEFFICIENTE PARZIALE (R2) | COEFFICIENTE PARZIALE (R3) |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Capacità portante della fondazione | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,4$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,1$ |
| Resistenza del terreno a valle | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,0$ | $\gamma_R = 1,4$ |

Figura 12: Tabella 6.5.I

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 22 di 27 |

FASI DI CALCOLO

7.1 SEZIONE DI CALCOLO

Step 0. Infissione della palancole da piano strada e applicazione sovraccarico mobile e scavo fino a quota -3,25m rispetto al piano strada.

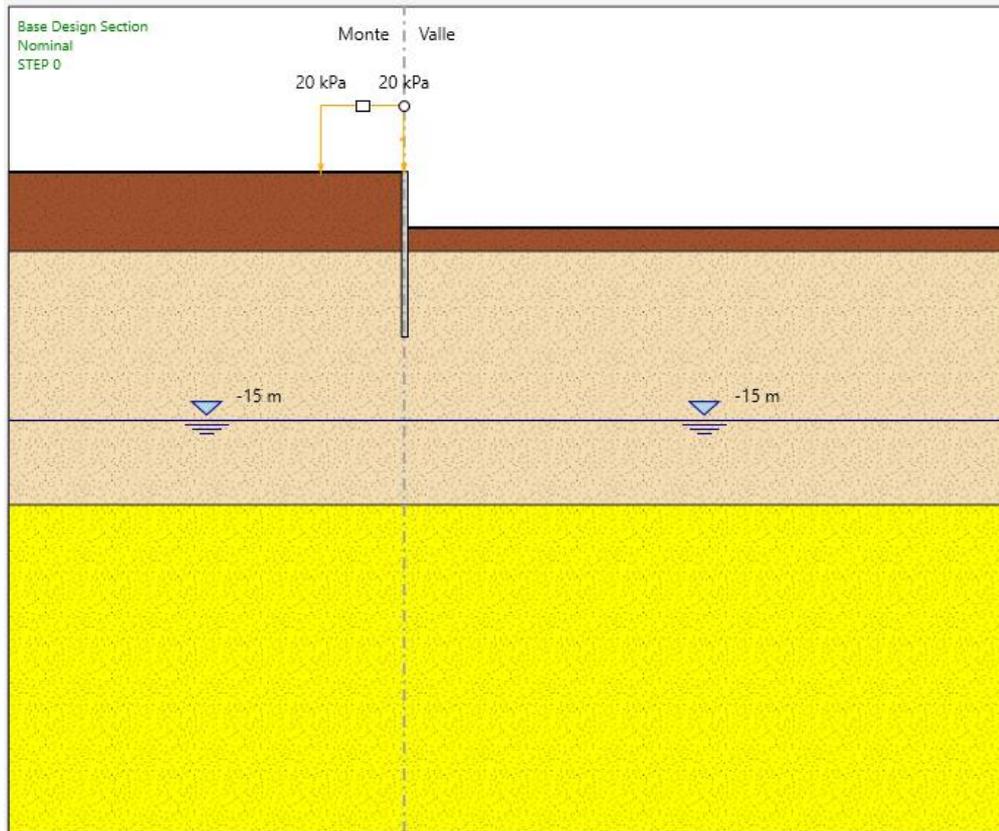


Figura 13: STEP 0

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 23 di 27 |

7.1.1 RISULTATI ANALISI SEZIONE 1 – PALI

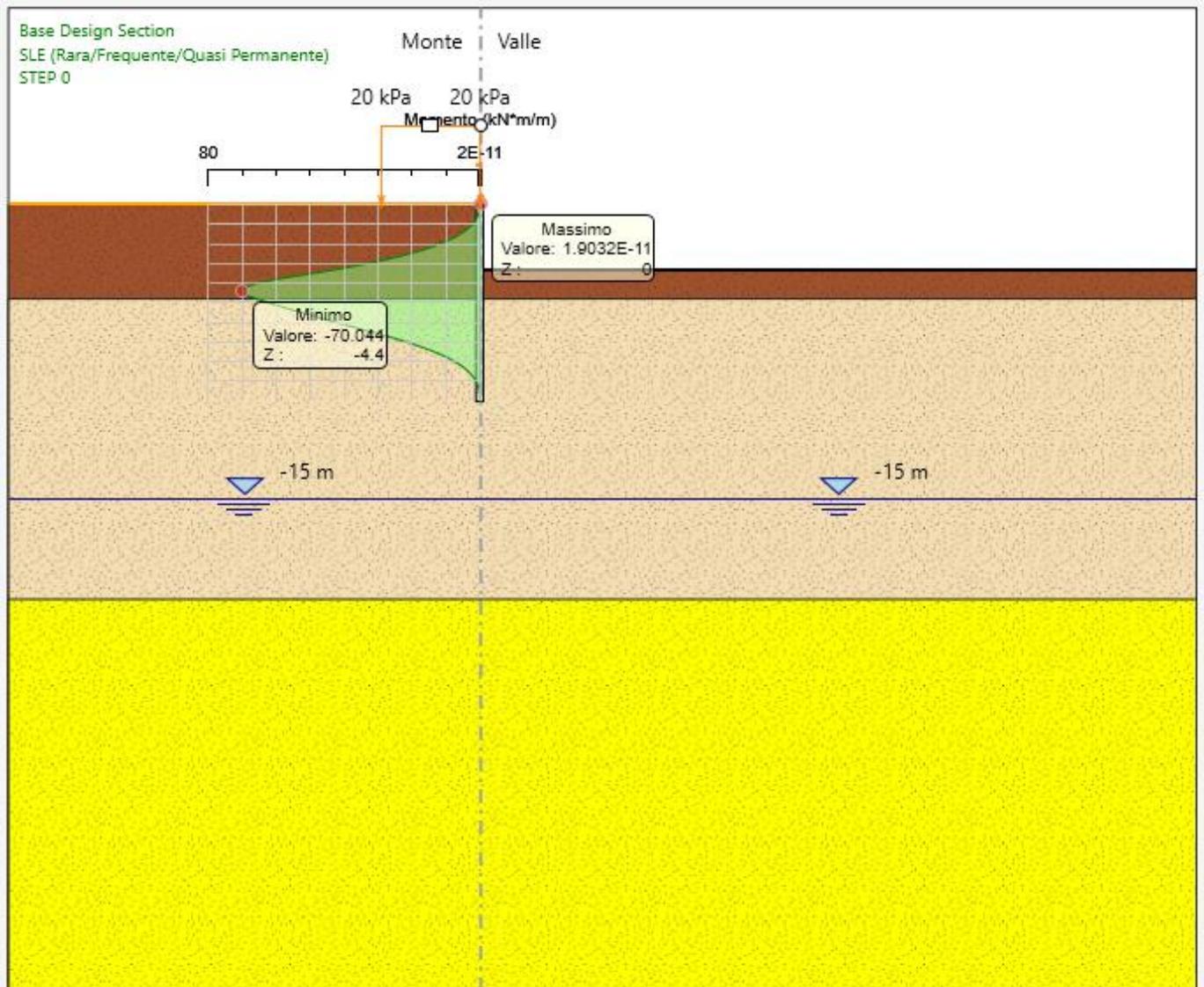


Figura 14: SLE – Momenti flettenti

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 24 di 27 |

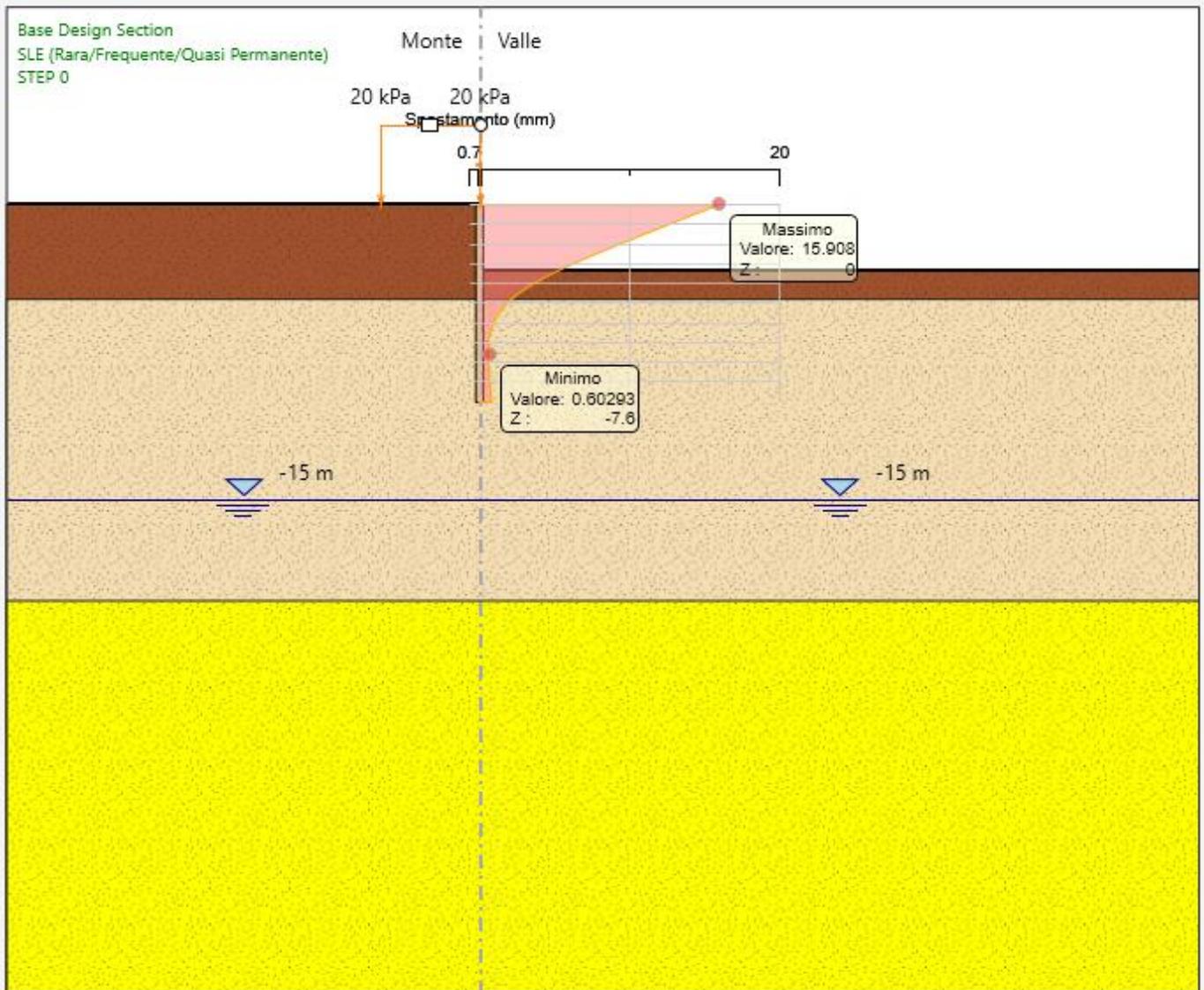


Figura 15: SLE – Spostamenti

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 25 di 27 |

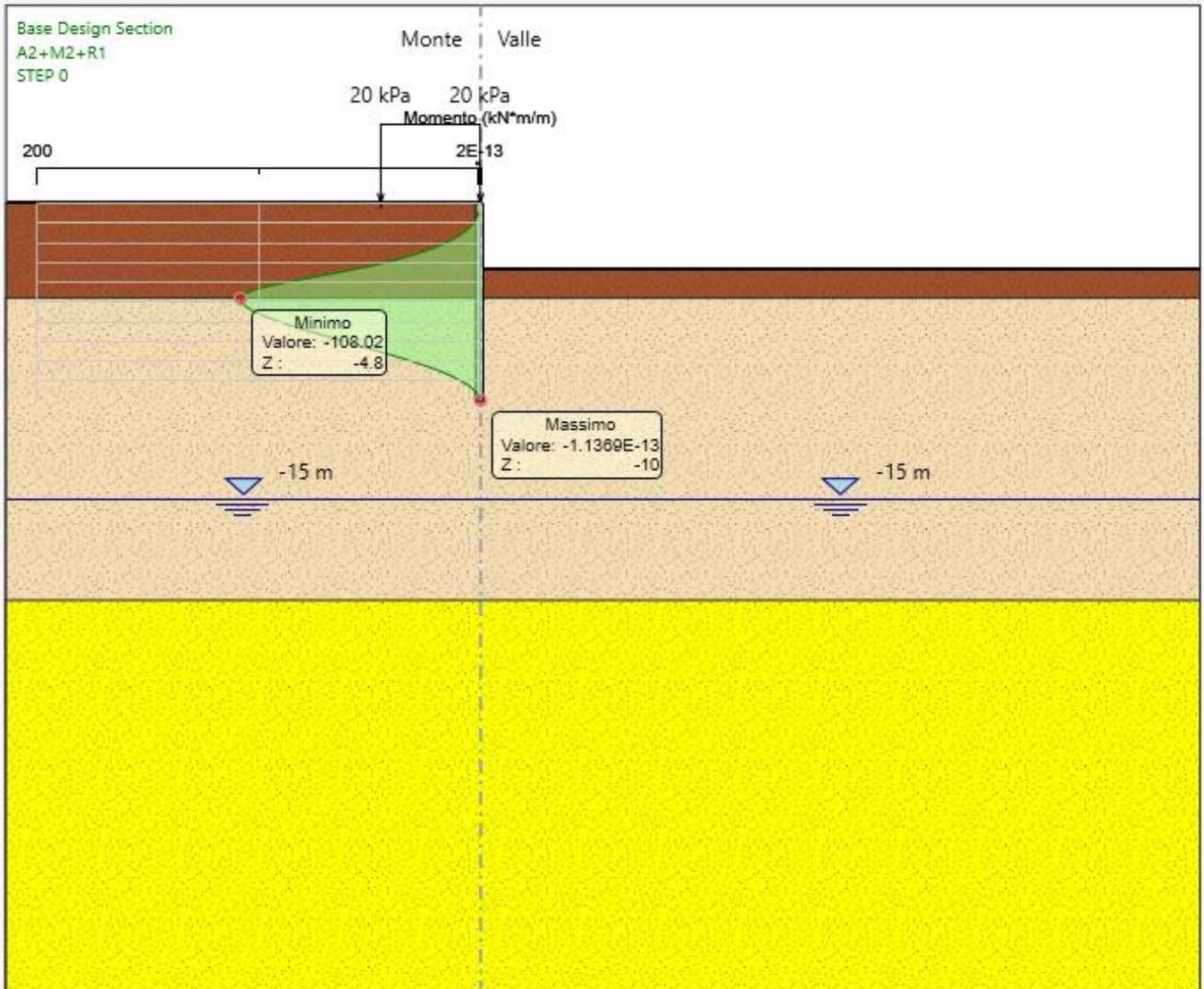


Figura 16: SLU – Involuppo Momenti flettenti

Relazione di calcolo opere provvisionali

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 26 di 27 |

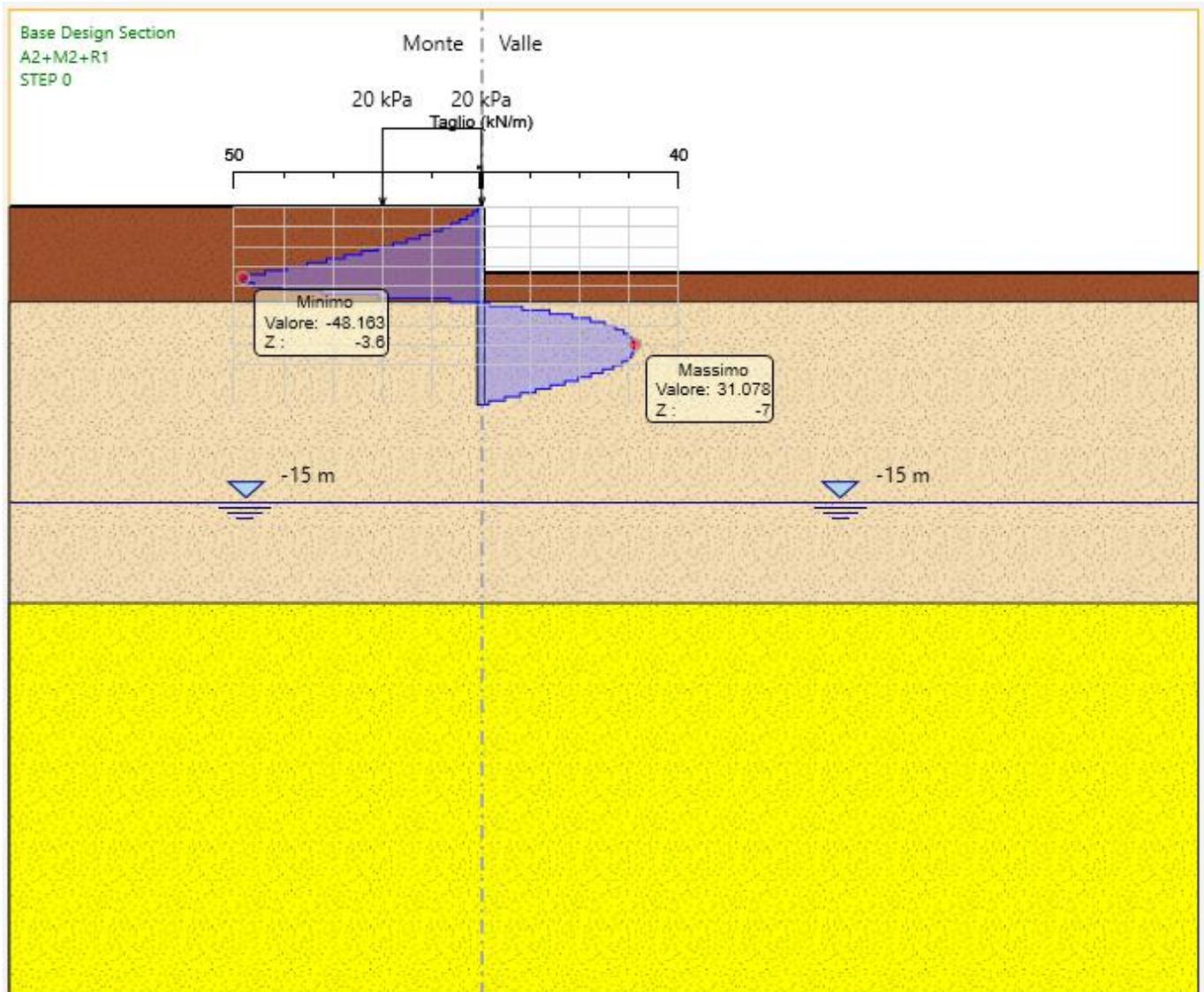


Figura 17: SLU – Involuppo di Taglio

Relazione di calcolo opere provvisionali

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF26 | 12 E ZZ | CL | GA0100 002 | A | 27 di 27 |

7.1.2 VERIFICA PALANCOLA

La Palncola AZ-18 per sostegno rilevato. Le sollecitazioni sono sinteizzate nella tabella seguente.

| COMBINAZIONI DI CARICO | Momento flettente | Taglio | Spsostamento |
|------------------------|-------------------|--------|--------------|
| | [kNm/m] | [kN/m] | [mm] |
| A1-M1-R1 | -91 | 47 | 33 |
| A2-M2-R1 | -108 | 48 | 15 |
| SLE | -70 | - | 15 |

*sforzo normale viene considerato pari a zero

Verifiche

| | | | |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|
| Momento fletente di progetto | $M_{ed} = 108,00$ | [kNm] | |
| Taglio taglio di progetto | $V_{ed} = 48,00$ | [kN] | |
| Altezza di scavo | $H_s = 3,35$ | [m] | |
| Resistenza di progetto barre in acciaio | $f_{yd} = 261,90$ | [N/mm ²] | |
| Modulo di young | $E = 210000,00$ | [N/mm ²] | |
| area della sezione | $A = 15000$ | [mm ²] | |
| Modulo di resistenza | $W = 1800000$ | [mm ³] | |
| Momento d'inerzia della sezione | $I_p = 342000000,00$ | [mm ⁴] | |
| Larghezza modulo di una palancola | $L = 1,26$ | [m] | |
| Momento resistente della sezione | $M_{rd} = 374,15$ | [kNm] | Fs = 3,46 |
| Taglio resistente della sezione | $V_{rd} = 3117,91$ | [kN] | Fs = 64,96 |
| Spostamento della paratia | $S_p = 15$ | [mm] | Hs/S_p = 223 |