

**ITINERARIO RAGUSA-CATANIA**

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PA898**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE**

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N. Granieri  
Dott. Ing. F. Durastanti  
Dott. Ing. V. Truffini  
Dott. Arch. A. Bracchini  
Dott. Ing. L. Nani

Dott. Ing. M. Abram  
Dott. Ing. F. Pambianco  
Dott. Ing. M. Briganti Botta  
Dott. Ing. L. Gagliardini  
Dott. Geol. G. Cerquiglini

MANDANTI:



Dott. Ing. G. Guiducci  
Dott. Ing. A. Signorelli  
Dott. Ing. E. Moscatelli  
Dott. Ing. A. Bela

Dott. Ing. G. Lucibello  
Dott. Arch. G. Guastella  
Dott. Geol. M. Leonardi  
Dott. Ing. G. Parente



Dott. Arch. E. A. E. Crimi  
Dott. Ing. M. Panfilii  
Dott. Arch. P. Ghirelli  
Dott. Ing. D. Pelle

Dott. Ing. L. Ragnacci  
Dott. Arch. A. Strati  
Archeol. M. G. Liseno



Dott. Ing. D. Carlacchini  
Dott. Ing. S. Sacconi  
Dott. Ing. C. Consorti

Dott. Ing. F. Aloe  
Dott. Ing. A. Salvemini



Dott. Ing. V. Rotisciani  
Dott. Ing. G. Pulli  
Dott. Ing. F. Macchioni

Dott. Ing. G. Verini Supplizi  
Dott. Ing. V. Piunno  
Geom. C. Sugaroni



Dott. Ing. P. Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

**OPERE IN SOTTERRANEO**

**GALLERIA NATURALE FRANCOFONTE (DAL KM 1+757 AL KM 2+480)**

**Relazione Tecnica e di calcolo Opere imbocco Nord**

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

L O 4 0 8 Z E 2 1 0 1

NOME FILE

T04GA00OSTRE02C

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB.

T 0 4 G A 0 0 O S T R E 0 2

C

-

**C**

Revisione a seguito di Rapporto di Verifica

Nov 2021

M. Rinaldi

E. Moscatelli

N. Granieri

**B**

Revisione a seguito istruttoria ANAS

Sett 2021

M. Rinaldi

E. Moscatelli

N. Granieri

**A**

Emissione

Giu 2021

M. Rinaldi

E. Moscatelli

N. Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

**INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA .....</b>	<b>7</b>
4.1	INTRODUZIONE .....	7
4.3	OPERE DI SOSTEGNO – PARATIE .....	10
4.3.1	Criteri di analisi .....	10
4.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	15
4.4.1	Calcolo del copriferro per le verifiche strutturali .....	17
<b>5</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>18</b>
5.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	18
<b>6</b>	<b>PARAMETRI SISMICI .....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI PARATIE .....</b>	<b>21</b>
7.1	IMBOCCO NORD H = 16.5 M.....	21
7.1.1	Verifiche strutturali pali .....	23
7.1.2	Spostamenti .....	28
7.1.4	Stabilità globale .....	29
7.1.5	Verifica Tiranti.....	30
7.2	IMBOCCO NORD H = 14.0 M.....	33
7.2.1	Verifiche strutturali pali .....	35
7.2.2	Spostamenti .....	40
7.2.4	Stabilità globale .....	41
7.4	IMBOCCO NORD H = 12 M .....	42
7.4.1	Verifiche strutturali pali .....	44
7.4.2	Spostamenti .....	49
7.4.4	Stabilità globale .....	50
7.6	IMBOCCO NORD H = 9.5 M .....	51
7.6.1	Verifiche strutturali pali .....	53
7.6.3	Spostamenti .....	58
7.6.4	Stabilità globale .....	59

---

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

7.6.6	Verifica Tiranti.....	60
<b>7.8</b>	<b>IMBOCCO NORD H = 4.5 M .....</b>	<b>63</b>
7.8.1	Verifiche strutturali pali .....	65
7.8.3	Spostamenti.....	70
7.8.4	Stabilità globale .....	71
<b>7.10</b>	<b>VERIFICA TRAVI DI RIPARTIZIONE .....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>GESTIONE DELLE FASI ESECUTIVE DELLA GALLERIA .....</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>RISOLUZIONE INTERFERENZE TIRANTI.....</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>VALORI SOGLIA MONITORAGGIO .....</b>	<b>76</b>
<b>11</b>	<b>ALLEGATI DI CALCOLO.....</b>	<b>77</b>
<b>11.1</b>	<b>FRANCOFONTE NORD .....</b>	<b>77</b>
11.1.1H	16.5 m.....	77
11.1.2H	14 m.....	80
11.1.4H	12 m.....	85
11.1.6H	9.5 m.....	89
11.1.8H	4.5 m.....	92

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano i calcoli di dimensionamento relativi alle paratie di imbocco provvisoria e tratti definitivi per la realizzazione della galleria Francofonte, da realizzare nell'ambito del progetto esecutivo del collegamento autostradale Ragusa – Catania, lotto 4.

Per la paratia imbocco nord è prevista una paratia provvisoria di pali con diametro 1000 mm interasse 1.20 m di lunghezza massima 30 m (H max scavo 16.5 m) .

Si prevedono un massimo di sei ordini di tiranti con interasse 2.4 m. L'azione di contrasto dei tiranti è distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S355 della serie HEB200.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative italiane vigenti:

- **Legge 5 novembre 1971, n. 1086** (G.U. 21 dicembre 1971, n. 321) "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64** (G.U. 21 marzo 1974 n. 76) "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. (1993) "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce"
- "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato", CNR
- **D.M. Infrastrutture e trasporti 14 gennaio 2008** (G.U. 4 febbraio 2008, n. 30, S.O.) "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** del ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" " di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

### 3 MATERIALI

#### Calcestruzzi

CLS MAGRO UNI EN 206-1

- Classe di resistenza: C12/15

CLS PER OPERE STRUTTURALI UNI EN 206-1

- Classe di resistenza: C25/30

- Classe di lavorabilità: S5

- Classe di esposizione: XC2 (I)

- Diametro max inerti: 25mm

CLS PROIETTATO

- Destinazione d'uso UNI 14487-1

- Classe di resistenza: C25/30

- Classe di lavorabilità: S4

- Classe di esposizione: XC2 (I)

- Categoria di ispezione: 1

- Diametro max inerti: 10mm

- Rapporto max A/C: 0.60

#### Acciaio

BARRE  $\varnothing \leq 26$ mm

B450C controllato in stabilimento

- tensione caratteristica a rottura,  $f_{tk}$ : 540MPa

- tensione caratteristica di snervamento,  $f_{yk}$ : 450MPa

TIRANTI A TREFOLI

- Diametro trefolo:  $\varnothing 0.6$ "

- Tensione caratteristica di rottura,  $f_{ptk}$ : 1860 MPa

- Tensione caratteristica corrisp. ad una deformazione dell'1% sotto carico,  $f_{p(1)k}$ : 1670MPa

ACCIAIO PER PROFILATI

- Profilati in acciaio, spessori  $\leq 40$  mm: S275J0W

#### Miscele di iniezione

- Rapporto A/C  $\leq 0.5$

- Classe C20/25

- Additivo fluidificante e antiritiro

**Drenaggi**

- Tubi in PVC,  $\varnothing 50/40$ mm, larghezza fessure 1mm, distanza fessure massima:10mm
- Rivestiti con tessuto-non-tessuto 500gr/mq

Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla tabella materiali nell'elaborato **T04GN000TSC01**.

## 4 CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA

### 4.1 INTRODUZIONE

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (6.2.1)$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$

e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F \cdot F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

#### Azioni

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I delle NTC-2008. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 delle NTC-2008. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel Cap. 2 delle NTC-2008.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

### Resistenze

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II delle NTC-2008 e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

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

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

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

Nelle sezioni che seguono saranno descritte in maggiore dettaglio le metodologie applicate ai casi esaminati: stabilità dei pendii, opere di materiali sciolti e fronti di scavo, opere di sostegno.

### Sisma

Nel paragrafo. 7.11.6.3.2 de DM 14/01/2008 si specifica che per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV) verificando il rispetto della condizione [6.2.1] con i coefficienti di sicurezza parziali prescritti al paragrafo 7.11.1. Quindi, le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel capitolo 7, oppure con i  $\gamma_R$  indicati nel capitolo 6 laddove non espressamente specificato. Come riporta la circolare C7.11.1 :

Le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche (SL V) devono essere effettuate adottando valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni e dei parametri geotecnici di progetto e i soli coefficienti parziali del gruppo R per il calcolo delle resistenze di progetto. A quest'ultimo fine, devono essere impiegati i valori dei coefficienti  $\gamma_R$

riportati nel presente Capitolo 7. Nel caso in cui non fossero espressamente indicati, si fa riferimento ai valori di  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 6.

### 4.3 OPERE DI SOSTEGNO – PARATIE

#### 4.3.1 Criteri di analisi

Le analisi sono condotte con riferimento alle Norme Tecniche 2008.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2: (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I e 6.8.I

**Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Sono state condotte analisi di tipo sismico di salvaguardia della vita (SLV) riferite alle condizioni di fine costruzione, come previsto dalle NTC 2008.

Questo approccio schematizza le azioni dinamiche con forze statiche equivalenti, pari al prodotto del coefficiente sismico ( $k_h$ ) per il peso delle masse accelerate dal sisma.

In aderenza a quanto riportato dal NTC 2008 relativamente alle paratie, la componente orizzontale  $a_h$  dell'accelerazione equivalente è legata all'accelerazione di picco dalla relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} \quad \text{paragr. 7.11.6.3.1}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera;  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

L'accelerazione di picco  $a_{\max}$ , è pari a:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad \text{paragr. 7.11.10}$$

dove  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento,  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  di amplificazione topografica.

Il coefficiente  $\alpha$  viene ricavato dall'altezza complessiva  $H$  delle paratie in funzione della categoria di suolo con riferimento al diagramma riportato nella figura seguente.

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD

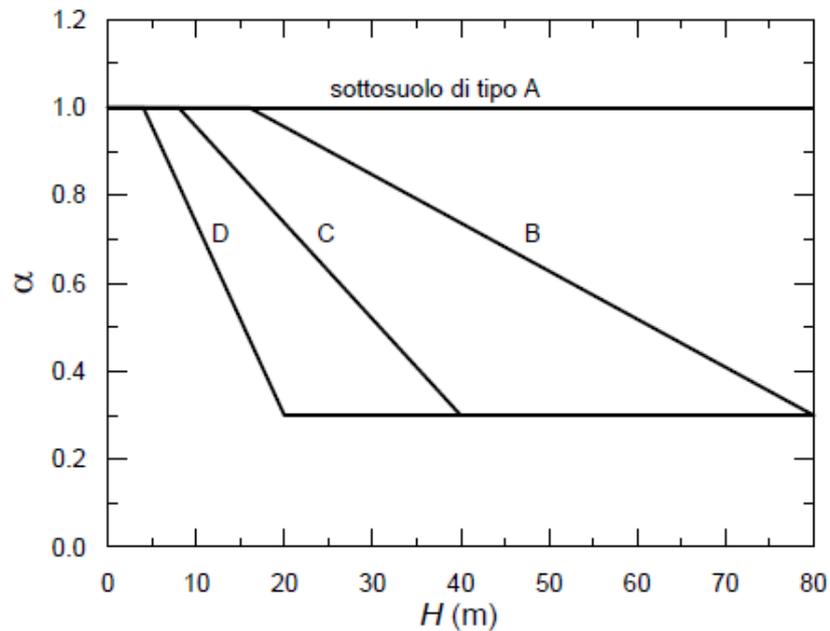


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

Il coefficiente  $\beta$  viene ricavato dal diagramma in figura seguente, sulla base della stima degli spostamenti massimi della paratia considerati ammissibili.

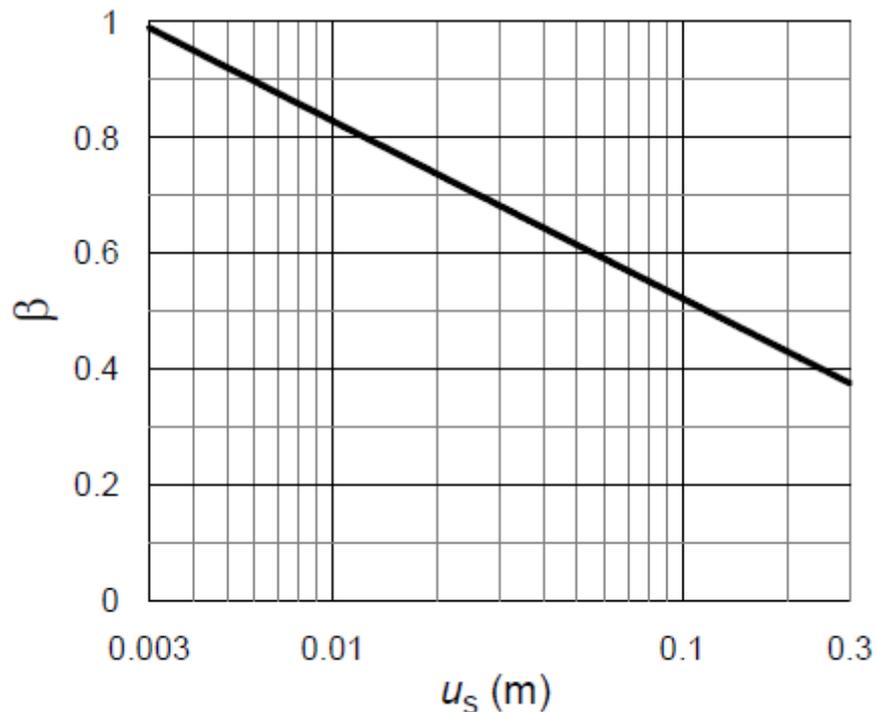


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima è valutato in funzione della ubicazione geografica del sito (comuni di appartenenza) e in funzione del periodo di riferimento  $V_R$  (pari al prodotto della vita nominale  $V_N$  per il coefficiente di utilizzo  $C_U$ ).

Gli stati limite considerati sono SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita) e SLD (Stato Limite di Danno).

#### Tiranti di ancoraggio.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare rispettata la condizione (6.2.1) con specifico riferimento ad uno stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione può essere effettuata con riferimento alla combinazione

A1+M1+R3

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.6.I.

**Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi**

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	$\gamma_R$	1,1
Permanenti	$\gamma_R$	1,2

La resistenza caratteristica allo sfilamento  $R_{ak}$  dell'ancoraggio può essere dedotta da:

- risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova;
- metodi di calcolo analitici, dove  $R_{ak}$  è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Nel caso in esame si è utilizzato l'approccio b), in cui il valore della resistenza caratteristica  $R_{ak}$  è il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione  $\xi_{a3}$  e  $\xi_{a4}$  rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze  $R_{a,c}$  ottenute dal calcolo.

Per la valutazione dei fattori  $\xi_{a3}$  e  $\xi_{a4}$ , si deve tenere conto che i profili di indagine sono solo quelli che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{\text{medio}}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{\text{min}}}{\xi_{a4}} \right\}$$

**Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine**

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Per la valutazione della resistenza caratteristica allo sfilamento, si è fatto ricorso al metodo di Bustamante e Doix.

La resistenza laterale  $R_k$  è così determinata:

$$R_k = \tau_{lim} \pi D_e L$$

in cui:

$\tau_{lim}$  : resistenza caratteristica lungo la superficie laterale del bulbo;

$$D_e = \alpha D$$

$D$  = diametro di perforazione

$\alpha$  = coefficiente maggiorativo

$L$  = lunghezza del bulbo

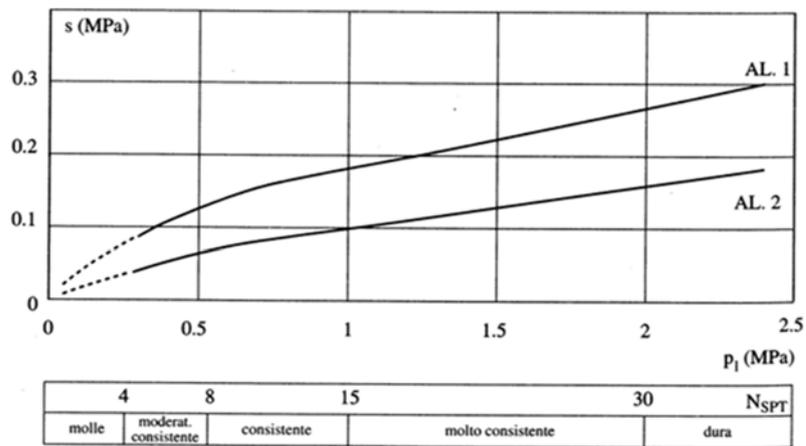


Fig. 13.17. Abaco per il calcolo di  $s$  per argille e limi

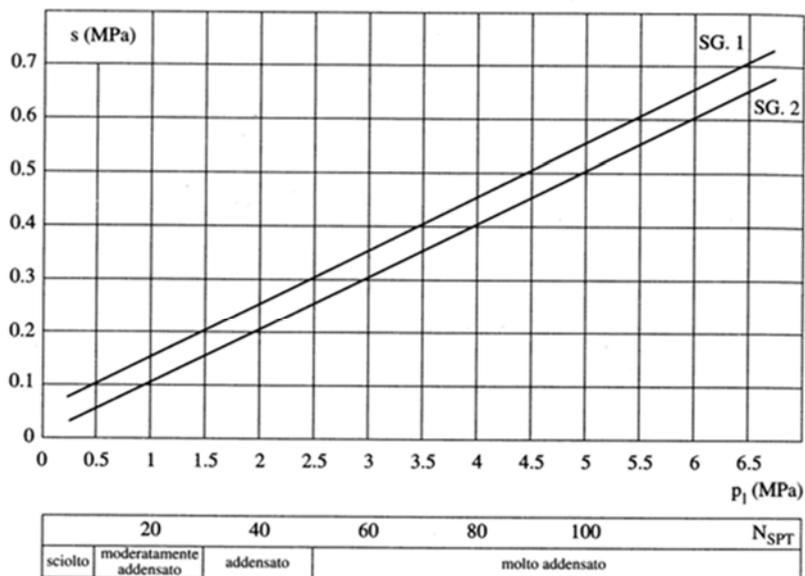


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di  $s$  per sabbie e ghiaie

Valori del coefficiente $\alpha$ ( $V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$ )				
TERRENO	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari mamosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

Indicazioni per la scelta del valore di $s$		
TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare mamoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

Cautelativamente per le verifiche dei tiranti sono stati presi i valori :

$\alpha$  = coefficiente maggiorativo = 1.2

S = 0.1 MPa

Tali valori saranno confermati a seguito di indagini di seconda fase o tramite campi prova.

#### 4.4 VERIFICHE STRUTTURALI

I modelli geotecnici, descritti ai paragrafi precedenti, relativamente alle combinazioni di carico previste dalla normativa NTC 2008, hanno consentito di ricavare le azioni di calcolo.

Nei paragrafi successivi sono illustrati i metodi di calcolo assunti per la valutazione delle resistenze di progetto e le relative verifiche strutturali riguardanti i suddetti elementi.

Gli **elementi in c.a.** sono stati oggetto di verifiche strutturali agli stati limite ultimi (SLU).

Le **verifiche agli SLU** sono state eseguite verificando la seguente condizione:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

- $R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base alle resistenze di progetto dei materiali ed in riferimento al comportamento degli elementi monodimensionali inflessi (prevalenza delle sollecitazioni flessionali e di taglio);
- $E_d$  è l'azione di calcolo relativa alle combinazioni di carico tipo STR.

Sono state distinte due condizioni di verifica:

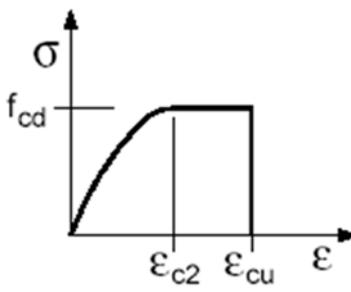
##### Verifiche a pressoflessione:

Le ipotesi adottate nel calcolo possono essere così riassunte:

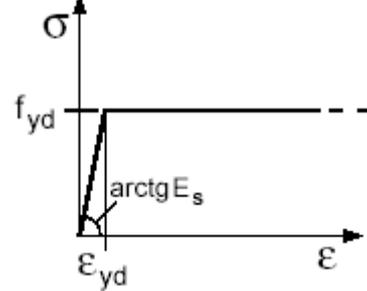
1. conservazione delle sezioni piane;
2. perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
3. resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
4. rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
5. rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

- Caratteristiche di calcolo dei materiali:

1. Calcestruzzo :

<p>- Gallerie artificiali (C25/30): <math>f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck,cyl} / \gamma_c = 14.1 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>- Imbocchi (C25/30): <math>f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck,cyl} / \gamma_c = 14.1 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>ove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\gamma_c = 1.5</math> (fattore di sicurezza)</li> <li>- <math>\alpha_{cc} = 0.85</math> (coefficiente riduttivo per gli effetti di lunga durata)</li> </ul>	
<p><math>\epsilon_{c2} = 0.20 \%</math></p>	
<p><math>\epsilon_{cu} = 0.35 \%</math></p>	

2. Acciaio:

<p><math>f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2</math> <math>E_s = 206000 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>ove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\gamma_s = 1.15</math> (fattore di sicurezza)</li> </ul>	
<p><math>\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_{sd} = 0.19 \%</math></p>	
<p><math>\epsilon_{ud} = 1.0 \%</math></p>	

### Verifiche a taglio

Le verifiche nei confronti delle sollecitazioni di taglio sono condotte considerando:

- Criterio di verifica:  $V_{Rd} = \min ( V_{Rsd} ; V_{Rcd} ) \geq V_{Ed}$
- Ipotesi di calcolo: la resistenza viene valutata sulla base di una schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono:
  1. le armature trasversali (inclinate di un angolo " $\alpha$ ")
  2. le armature longitudinali
  3. il corrente compresso di calcestruzzo
  4. i puntoni d'anima inclinati di un angolo " $\theta$ ".

La valutazione della resistenza, in maniera cautelativa, è stata eseguita assumendo una "sezione quadrata inscritta":

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha / s$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_{cd} \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

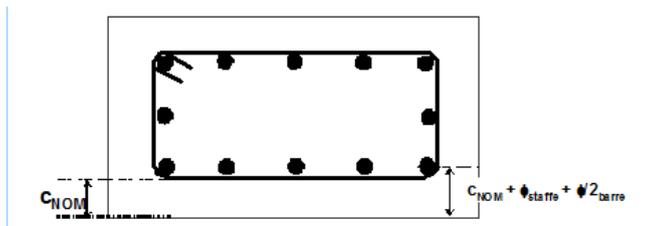
con:

- $d$  altezza utile della sezione (nei pali è pari al lato del quadrato inscritto)
- $b_w$  larghezza minima della sezione (nei pali è pari al lato del quadrato inscritto)
- $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale
- $f'_{cd} = 0.5 f_{cd} = 8.70 \text{ N/mm}^2$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima;
- $\alpha_{cd}$  fattore maggiorativo dipendente dallo sforzo di compressione medio agente nella sezione di verifica; cautelativamente è stato posto pari ad  $\alpha_{cd} = 1$  relativo alle sezioni non compresse ( $N_{Ed}=0$ ).

#### 4.4.1 Calcolo del copriferro per le verifiche strutturali

Il valore del copriferro nominale, in accordo alla definizione data sia dalle NTC, rappresenta la porzione netta di calcestruzzo a ricoprimento delle armature sia esse longitudinali che staffe. La distanza ( $d$ ), invece, indica la distanza tra il baricentro dell'armatura principale e la superficie esterna dell'elemento che viene impiegata nel dimensionamento strutturale in c.a. Il valore di  $d$  potrà essere opportunamente calcolato a partire dal copriferro nominale cui bisognerà aggiungere il diametro delle staffe e il semidiametro dell'armatura principale resistente :

- $d = \text{copriferro per le verifiche strutturali} = C_{\text{nom}} + \phi_{\text{staffe}} + \phi_{\text{barre}} / 2$



Nello specifico il valore di  $d$  è pari :  $7 \text{ cm} + \phi 12 + \phi 24/2 = 9.4 \text{ cm}$

## 5 PARAMETRI GEOTECNICI

Ai fini dei calcoli progettuali delle opere in esame è stata utilizzata la seguente caratterizzazione geotecnica delle formazioni geologiche interessate dalle opere.

### 5.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nella tabella seguente si riportano i valori delle caratteristiche fisico – meccaniche delle formazioni interessate dalla realizzazione delle opere.

Tabella 5-1 Parametri geotecnici di calcolo.

Formazione	Tratto	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	E
		kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa
<b>Qcs</b>	Opere aperto	19,0÷21,0	0	38÷42	50÷150
<b>Qa</b>	Opere aperto	17,0÷19,0	10÷20	20÷25	10÷100

Le formazioni presenti lungo il tratto in oggetto sono:

- **Qcs** Sabbie con vari gradi di cementazione. Quando la cementazione è consistente. la composizione di tale litotipo passa da granulare a lapidea ed il materiale tende alle calcareniti di colore avana biancastro.
- **Qa** materiale dal comportamento essenzialmente a grana fine di tipo argilloso e limoso

Nel corso delle indagini è stato misurato il livello piezometrico in corrispondenza dei piezometri installati. È stata rilevata la presenza di falda a profondità variabili, come indicato nel profilo geologico.

Per maggiori dettagli circa la caratterizzazione dei litotipi e le prove di laboratorio si rimanda alla relazione Geotecnica Generale **T04GE00GETRE01** e al profilo **geotecnicoT04GE00GETFG02**

## 6 PARAMETRI SISMICI

**Sito in Esame** : latitudine: 36,928 [°]; longitudine: 14,728 [°]

**Classe d'uso: IV.** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita nominale: **10** [anni] – opere provvisionali

Categoria sottosuolo: **C**; Categoria topografica: **T1**; Periodo di riferimento: **35** anni

NTC - Norme Tecniche per le Costruzioni

Dati NTC 2008

Latitudine  Longitudine  Ragusa (RG)  
36° 55' 40,8" N 14° 43' 40,8" E

Vita nominale (anni)  Classe d'uso  Cu 2

Stato Limite  Cat. Sottosuolo  Cat. topografica

ag (g)   
F0   
T\*c   
Ss   
St   
Cc

punti 50525 50524 50303 50747

posizione indicativa (mappa INGV)

La categoria di suolo è definita nella relazione sismica **T04GE06GEORE01**.

### Parametri sismici

	H	H	H	H	H
H (m)	30	26	22	18	14
u (m)	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07
$\beta$	0.3145	0.3327	0.3538	0.3792	0.4110
$\alpha$	1	1	1	1	1
$\alpha*\beta$	> 0.2	> 0.2	> 0.2	> 0.2	> 0.2
cat sott Suolo	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
cat topog.	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>
ag	<b>0,2522</b>	<b>0,2522</b>	<b>0,2522</b>	<b>0,2522</b>	<b>0,2522</b>
FO	<b>2,3375</b>	<b>2,3375</b>	<b>2,3375</b>	<b>2,3375</b>	<b>2,3375</b>
SS	1,3463	1,3463	1,3463	1,3463	1,3463
ST	1	1	1	1	1
amax	0,3395	0,3395	0,3395	0,3395	0,3395
kh	0,1068	0,1129	0,1201	0,1288	0,1396
kv	0	0	0	0	0

La spinta sismica viene calcolata con la teoria di Mononobe Okabe. Tale teoria è basata su un equilibrio limite di un cuneo di terreno soggetto ad un'azione orizzontale, in aggiunta al peso. Non è altro che un'estensione del metodo di Coulomb (risalente al 1776).

Questa teoria si usa per opere "flessibili" che accettano "grandi" spostamenti, ovvero che non si comportano come opere rigide.

Il diagramma di spinta viene applicato solo alla parte di opera fuori terra.

Nel paragrafo. 7.11.6.3.2 de DM 14/01/2008 si specifica che per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV) verificando il rispetto della condizione [6.2.1] con i coefficienti di sicurezza parziali prescritti al paragrafo 7.11.1. Quindi, le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel capitolo 7, oppure con i  $\gamma_R$  indicati nel capitolo 6 laddove non espressamente specificato. Come riporta la circolare C7.11.1 :

Le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche (SL V) devono essere effettuate adottando valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni e dei parametri geotecnici di progetto e i soli coefficienti parziali del gruppo R per il calcolo delle resistenze di progetto. A quest'ultimo fine, devono essere impiegati i valori dei coefficienti  $\gamma_R$

riportati nel presente Capitolo 7. Nel caso in cui non fossero espressamente indicati, si fa riferimento ai valori di  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 6.

## 7 ANALISI PARATIE

Si riportano, di seguito, i principali risultati delle analisi numeriche condotte per le sezioni rappresentative dell'imbocco Nord della Galleria Francofonte. I calcoli sono stati effettuati con il codice ParatiePlus.

### 7.1 IMBOCCO NORD H = 16.5 M

La paratia è costituita da una successione di pali Ø1000, posti ad interasse di 1.20 m, di lunghezza massima pari a 30 m. La paratia sarà contrastata con ordini di tiranti posti ad interasse di 2.40 m con inclinazione variabile. Tale azione di contrasto verrà distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S275 della serie HEB200.

Per il dimensionamento della paratia si è considerata un'altezza di scavo massima pari a 16.5 m.

La stratigrafia di calcolo, a partire da p.c., è costituita da:

Stratigrafia [da p.c.]	Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (MPa)
da 0 a 5 m	Qc (a)	18,5	20	24	70
da 5 a 20	Qa	18,5	20	20	25

Si considera la falda a 25,0 m dal piano campagna.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva è stata effettuata facendo ricorso alla teoria di Mononobe-Okabe (rapporto  $\delta/\phi'=0.5$ ) mentre la valutazione dei coefficienti di spinta passiva è stata effettuata con la teoria di Caquot-Kerisel considerando a favore di sicurezza un rapporto  $\delta/\phi'=0$ .

Nel calcolo sono state considerate le seguenti fasi:

1. Inizializzazione del modello con fase geostatica e realizzazione della paratia
2. Scavo per la realizzazione del primo tirante
3. Messa in opera del tirante
4. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo e ripetizione delle fasi 3 e 4 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo
5. Scavo finale
6. Applicazione del sisma
7. Stabilità globale

Le fasi sopra riportate, nel calcolo sono ripetute per le diverse combinazioni:

- SLU: A1+M1+R1
- SLU: A2+M2+R2
- SLE

In allegato sono riportati tutti i dettagli dei calcoli eseguiti.

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa del modello di calcolo:

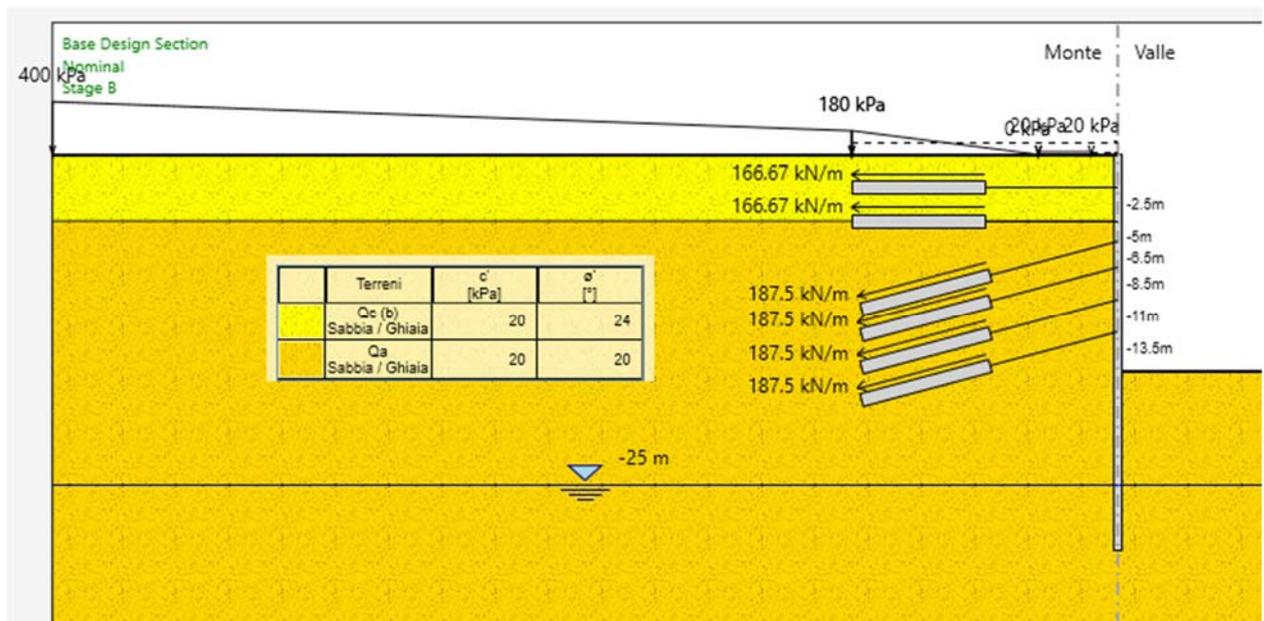


Figura 7.1 Figura esplicativa del modello di calcolo adottato per la sezione frontale di imbuco.



**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

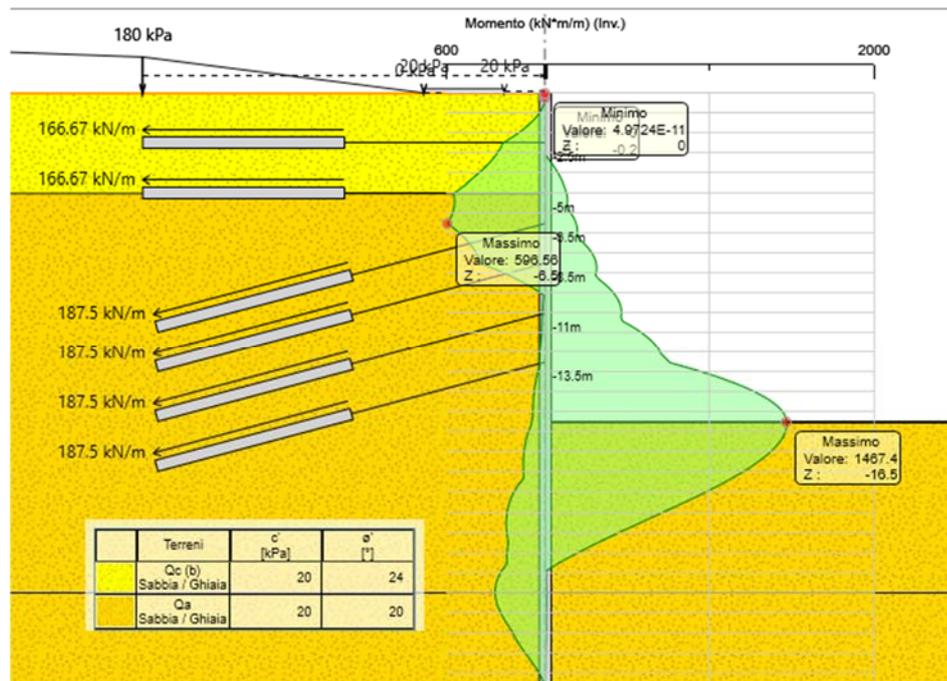


Figura 7-3 Momento flettente agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

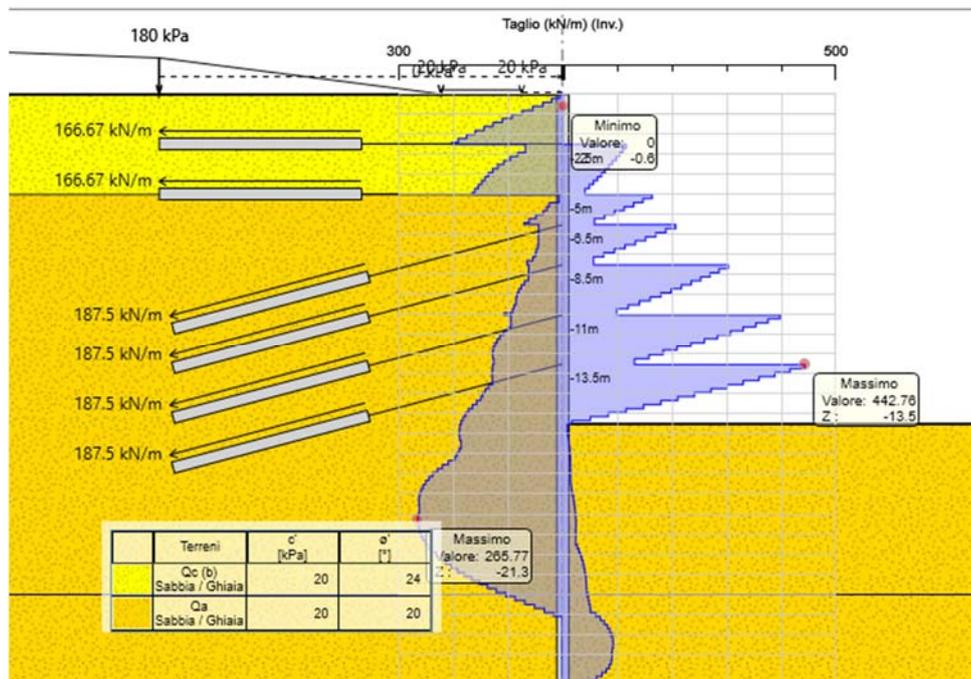


Figura 7-4 Taglio agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

A metro lineare, le massime sollecitazioni di calcolo sono pari a:

$$M_d = 1467.4 \text{ kNm/m}$$

$$V_d = 442.76 \text{ kN/m}$$

Sul singolo palo (interasse 1.20 m):

$$M_d = 1761 \text{ kNm}$$

$$V_d = 531.3 \text{ kN}$$

Si riportano le verifiche agli SLU.

### 7.1.1.1 Pressoflessione

Palo  $\phi 1000$  (classe di resistenza C25/30) armato con **30  $\phi 24$**  (FeB450C).

Si considera la Nd dovuta al solo peso proprio, trascurabile ai fini delle verifiche.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali\_30\_30F24\_ok

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 50 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N\* barre uguali 30

Diametro barre 2.4 [cm]

Copri ferro (baric.) 10 [cm]

N\* barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN

M<sub>xEd</sub> 1761 450 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviata

Vertici: 52 N\* rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰

$E_s$  200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14.17

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.6

$\tau_{c1}$  1.829

M<sub>xRd</sub> 1'789 kN m

$\sigma_c$  -14.17 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  7.411 ‰

d 90 cm

x 28.87 x/d 0.3208

$\delta$  0.841

La verifica è soddisfatta.

### 7.1.1.2 Taglio

Sezione quadrata inscritta di lato 70 cm; armature costituita da staffe  $\phi 12$  passo 20 cm (acciaio B450C).

<b>Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio</b>			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} = 531.3$	<i>kN</i>	
Altezza della sezione	$h = 700$	mm	
Copriferro della sezione	$\delta = 100$	mm	
Altezza utile della sezione	$d = 600$	mm	
Diametro delle staffe	$d_w = 12$	mm	
Numero di braccia	$n_w = 2$		
Area totale staffe	$A_{sw} = 226.08$	mm <sup>2</sup>	
Passo delle staffe	$s = 200$	mm	
Inclinazione delle staffe	$\alpha = 90$	deg	
Inclinazione delle bielle compresse	$\theta = 21.8$	deg	$\cot(\theta) = 2.50$
Larghezza minima della sezione	$b_w = 700$	mm	
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	$\alpha_c = 1.2$		
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"</b>	$V_{Rsd} = 597.2$	<i>kN</i>	$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-compressione"</b>	$V_{Rcd} = 1103.4$	<i>kN</i>	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	$V_{Rd} = 597.2$	<i>kN</i>	$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$
<b>Esito della verifica</b>	<b>soddisfatta</b>		

La verifica è soddisfatta.

### 7.1.2 \_\_ Spostamenti

Il massimo spostamento, in condizioni di esercizio, in assenza di sisma, è pari a 34 mm.

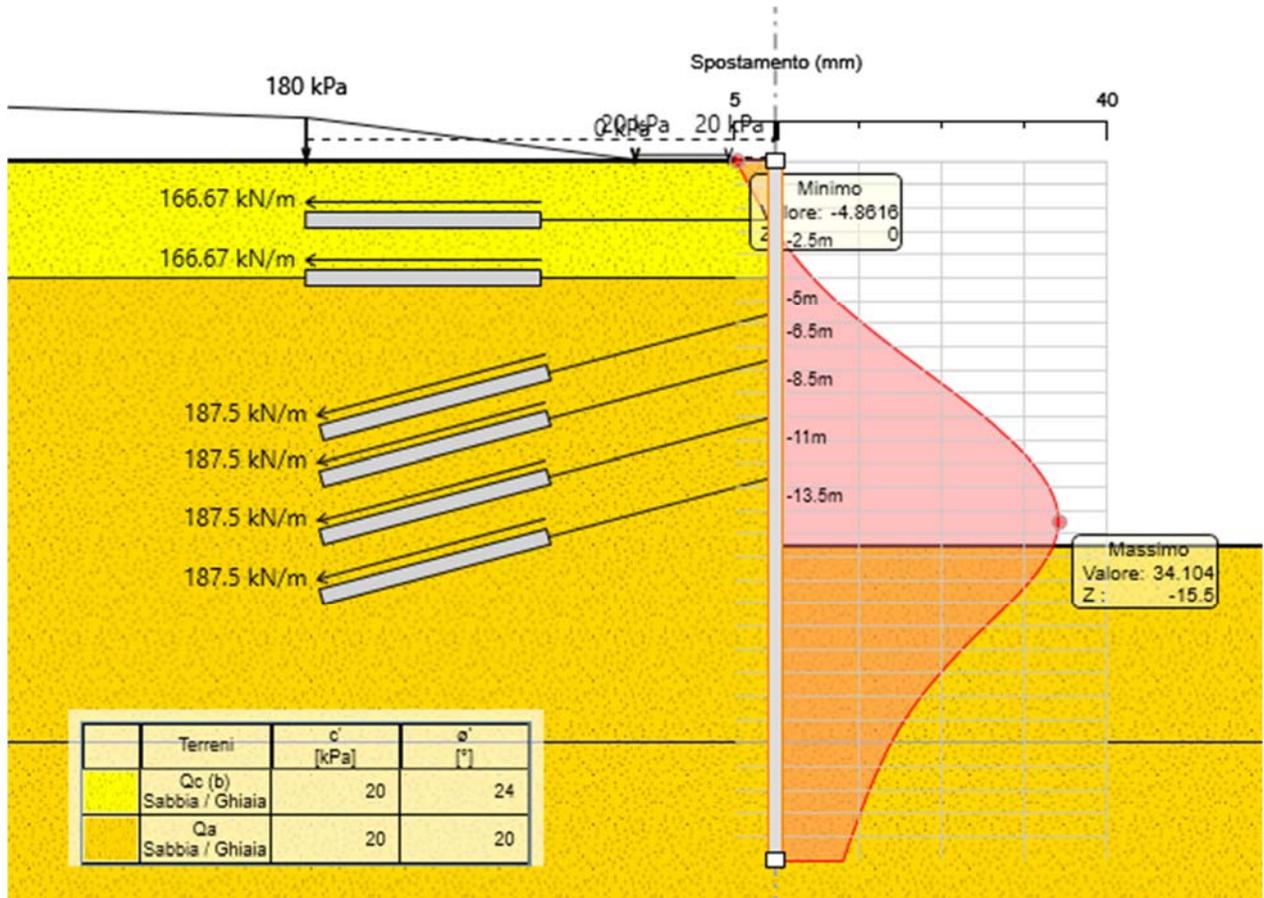


Figura 7-5 Spostamenti Paratia

### 7.1.4 \_\_ Stabilità globale

Come indicato al punto 6.5.3.1.2 del D.M. 2008, le verifiche di stabilità globale sono state condotte per la combinazione A2+M2+R2, in fase statica e fase sismica. Il metodo di calcolo adottato è quello di Bishop. Si riporta la figura del FS minimo ottenuto.

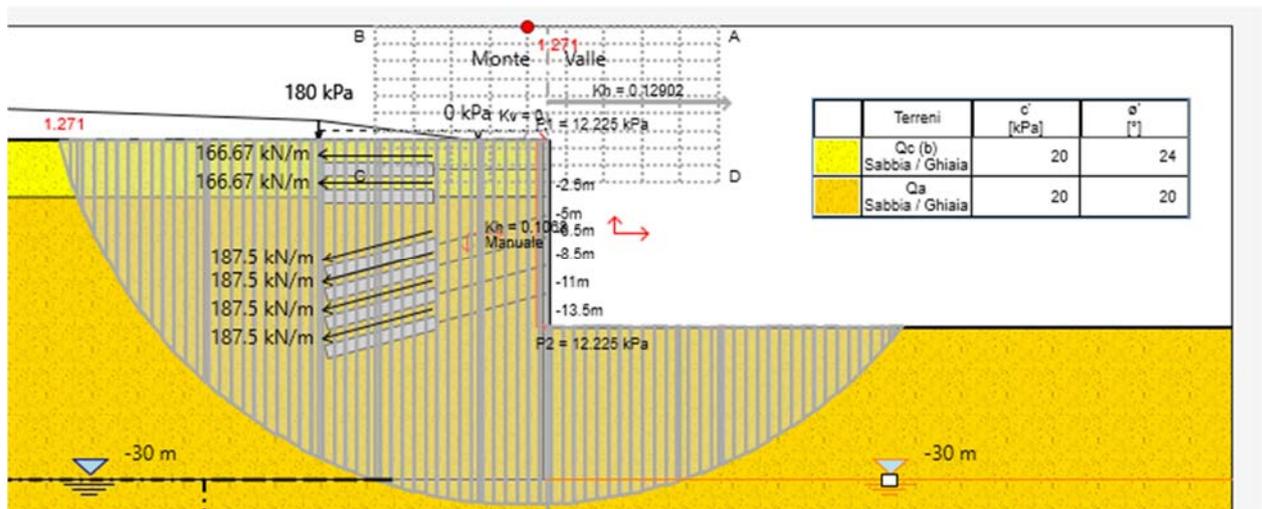


Figura 7-6 Stabilità globale – Fase sismica - Paratia imbocco Nord

### 7.1.5 Verifica Tiranti

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime ottenute sui tiranti delle sezioni di calcolo con altezza 16.5 – 14 e 12 m .

Ordine	Interasse (m)	Inclinazione (°)	Trefoli	Pre Tensione (kN)	Reazione (kN)	N esercizio (kN)
T1	2.4	var	5	400	531.2	408.6
T2	2.4	var	5	400	558.2	429.4
T3	2.4	var	5	450	653.9	490.0
T4	2.4	15	5	450	692.7	532.8
T5	2.4	15	5	450	716.0	550.8
T6	2.4	15	5	450	701.6	539.7

Si riportano di seguito le verifica sulla fila di tiranti, che dalle analisi numeriche, risulta essere più sollecitata.

$N_G$  Azione permanente sul tirante: 653.9 kN

$N_Q$  Azione variabile sul tirante: 0 kN

$N_t$  Azione di calcolo ( $N_G \cdot \gamma_g + N_Q \cdot \gamma_q$ ): 653.928 kN

**Aderenza Malta -Terreno  $L = N_t \cdot F_s / (D_s \cdot p \cdot s_d)$**

D (cm) Diametro della perforazione = 200 (mm)

$\alpha$  (-) Coeff. moltiplicativo = 1.2

$D_s$  (cm) Diametro di calcolo ( $D_s = \alpha \cdot D$ ) = 240 (mm)

$s_k$  (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno = 0.10 (MPa)

$s_k$  (MPa) tensione unitaria minima di aderenza malta - terreno = 0.10 (MPa)

$s_d$  (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno = 0.05 (MPa)

$$s_d = \text{Min}(s_{\text{med}} / \xi_3 \gamma_s ; s_{\text{min}} / \xi_4 \gamma_s)$$

Lunghezza di ancoraggio  $L = 17.2$  (m)

$$\gamma_R = 1.1 \text{ (tiranti provvisionali)} \quad \xi_3 = 1.80 \quad \xi_4 = 1.80$$

**Verifica a trazione dell'armatura**

$$N = N_G + N_Q = 653.928 \quad (\text{kN})$$

$$\text{UNI EN 1537} \quad N \leq 0.65 \cdot f_{ptk} \cdot n \cdot A_t = 844.89 \quad (\text{kN})$$

$$N_G \text{ Azione permanente sul tirante: } \quad \checkmark \quad 716.0 \quad \text{kN}$$

$$N_Q \text{ Azione variabile sul tirante: } \quad 0 \quad \text{kN}$$

$$N_t \text{ Azione di calcolo } (N_G \cdot \gamma_g + N_Q \cdot \gamma_q): \quad 716.016 \quad \text{kN}$$

**Aderenza Malta -Terreno  $L = N_t \cdot F_s / (D_s \cdot p \cdot s_d)$**

$$D \text{ (cm) Diametro della perforazione} = 200 \quad (\text{mm})$$

$$\alpha \text{ (-) Coeff. moltiplicativo} = 1.2$$

$$D_s \text{ (cm) Diametro di calcolo } (D_s = \alpha \cdot D) = 240 \quad (\text{mm})$$

$$s_k \text{ (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno} = 0.10 \quad (\text{MPa})$$

$$s_k \text{ (MPa) tensione unitaria minima di aderenza malta - terreno} = \checkmark \quad 0.10 \quad (\text{MPa})$$

$$s_d \text{ (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno} = 0.05 \quad (\text{MPa})$$

$$s_d = \text{Min}(s_{med} / \xi_3 \gamma_s ; s_{min} / \xi_4 \gamma_s)$$

$$\text{Lunghezza di ancoraggio} \quad L = 18.8 \quad (\text{m})$$

$$\gamma_R = 1.1 \text{ (tiranti provvisionali)} \quad \xi_3 = 1.80 \quad \xi_4 = 1.80$$

**Verifica a trazione dell'armatura**

$$N = N_G + N_Q = 716.016 \quad (\text{kN})$$

$$\text{UNI EN 1537} \quad N \leq 0.65 \cdot f_{ptk} \cdot n \cdot A_t = 844.89 \quad (\text{kN})$$

**Verifica nel rispetto della gerarchia delle resistenze par.6.6.2 NTC2008**

$$\text{Tensione caratt. all'1\% di deformazione dell'acciaio } (f_{p(1)\%}) \quad 1670 \quad \text{MPa}$$

$$\text{Diametro del trefolo} \quad 13.34 \quad \text{mm}$$

$$\text{Resistenza caratt. al limite di snervamento della lung. libera} \quad 1167.05 \quad \text{kN}$$

$$\text{Resistenza a sfilamento della fondazione} \quad 844.89 \quad \text{kN}$$

Le verifiche sono soddisfatte.

La lunghezza libera del tirante si ottiene dalla seguente relazione:

$$L_{libera} = (h + t - h_i) \cdot \frac{\sin(45 - \phi/2)}{\sin(45 + \alpha + \phi/2)}$$

La lunghezza così ottenuta deve essere aumentata in base alle NTC 2008 (7.11.12) di:

$$L_e = L_s \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{a_{max}}{g} \right)$$

Quindi si ha:

Lunghezza libera T1		Lunghezza libera T2		Lunghezza libera T3	
hi = prodonfità T1	2.5 m	hi = prodonfità T2	5.5 m	hi = prodonfità T3	7.5 m
h = fuori terra paratia	16.5 m	h = fuori terra paratia	16.5 m	h = fuori terra paratia	16.5 m
t = infissione paratia	13.5 m	t = infissione paratia	13.5 m	t = infissione paratia	13.5 m
i = inclinazione tirante	0 °	i = inclinazione tirante	0 °	i = inclinazione tirante	0 °
φ = angolo attrito	20 °	φ = angolo attrito	20 °	φ = angolo attrito	20 °
ag/g	0.2522	ag/g	0.2522	ag/g	0.2522
kp	35 °	kp	35 °	kp	35 °
L libera	19.3 m	L libera	17.2 m	L libera	15.8 m
<b>L libera sisma</b>	<b>27.0 m</b>	<b>L libera sisma</b>	<b>24.0 m</b>	<b>L libera sisma</b>	<b>22.0 m</b>
Lunghezza libera T4		Lunghezza libera T5		Lunghezza libera T6	
hi = prodonfità T4	9.5 m	hi = prodonfità T5	11.5 m	hi = prodonfità T6	13.5 m
h = fuori terra paratia	16.5 m	h = fuori terra paratia	16.5 m	h = fuori terra paratia	16.5 m
t = infissione paratia	13.5 m	t = infissione paratia	13.5 m	t = infissione paratia	13.5 m
i = inclinazione tirante	15 °	i = inclinazione tirante	15 °	i = inclinazione tirante	15 °
φ = angolo attrito	20 °	φ = angolo attrito	20 °	φ = angolo attrito	20 °
ag/g	0.2522	ag/g	0.2522	ag/g	0.2522
kp	35 °	kp	35 °	kp	35 °
L libera	12.5 m	L libera	11.3 m	L libera	10.1 m
<b>L libera sisma</b>	<b>17.0 m</b>	<b>L libera sisma</b>	<b>16.0 m</b>	<b>L libera sisma</b>	<b>14.0 m</b>

Si riporta in forma tabellare i risultati ottenuti delle lunghezze caratteristiche dei tiranti.

Ordine	Inclinazione Tirante (°)	Lunghezza Libera (m)	Lunghezza Ancoraggio (m)	Lunghezza Totale (m)
T1	0-15	27	18	45
T2	0-15	24	18	42
T3	0-15	22	18	40
T4	0-15	17	21	38
T5	0-15	16	21	37
T6	0-15	14	21	35

## 7.2 IMBOCCO NORD H = 14.0 M

La paratia è costituita da una successione di pali Ø1000, posti ad interasse di 1.20 m, di lunghezza massima pari a 26 m. La paratia sarà contrastata con ordini di tiranti posti ad interasse di 2.40 m con inclinazione variabile. Tale azione di contrasto verrà distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S275 della serie HEB200.

Per il dimensionamento della paratia si è considerata un'altezza di scavo massima pari a 14.0 m.

La stratigrafia di calcolo, a partire da p.c., è costituita da:

Stratigrafia [da p.c.]	Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (MPa)
da 0 a 5 m	Qc (a)	18,5	20	24	70
da 5 a 20	Qa	18,5	20	20	25

Si considera la falda a 25,0 m dal piano campagna.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva è stata effettuata facendo ricorso alla teoria di Monobe-Okabe (rapporto  $\delta/\phi'=0.5$ ) mentre la valutazione dei coefficienti di spinta passiva è stata effettuata con la teoria di Caquot-Kerisel considerando a favore di sicurezza un rapporto  $\delta/\phi'=0$ .

Nel calcolo sono state considerate le seguenti fasi:

1. Inizializzazione del modello con fase geostatica e realizzazione della paratia
2. Scavo per la realizzazione del primo tirante
3. Messa in opera del tirante
4. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo e ripetizione delle fasi 3 e 4 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo
5. Scavo finale
6. Applicazione del sisma
7. Stabilità globale

Le fasi sopra riportate, nel calcolo sono ripetute per le diverse combinazioni:

- SLU: A1+M1+R1
- SLU: A2+M2+R2
- SLE

In allegato sono riportati tutti i dettagli dei calcoli eseguiti.

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa del modello di calcolo:

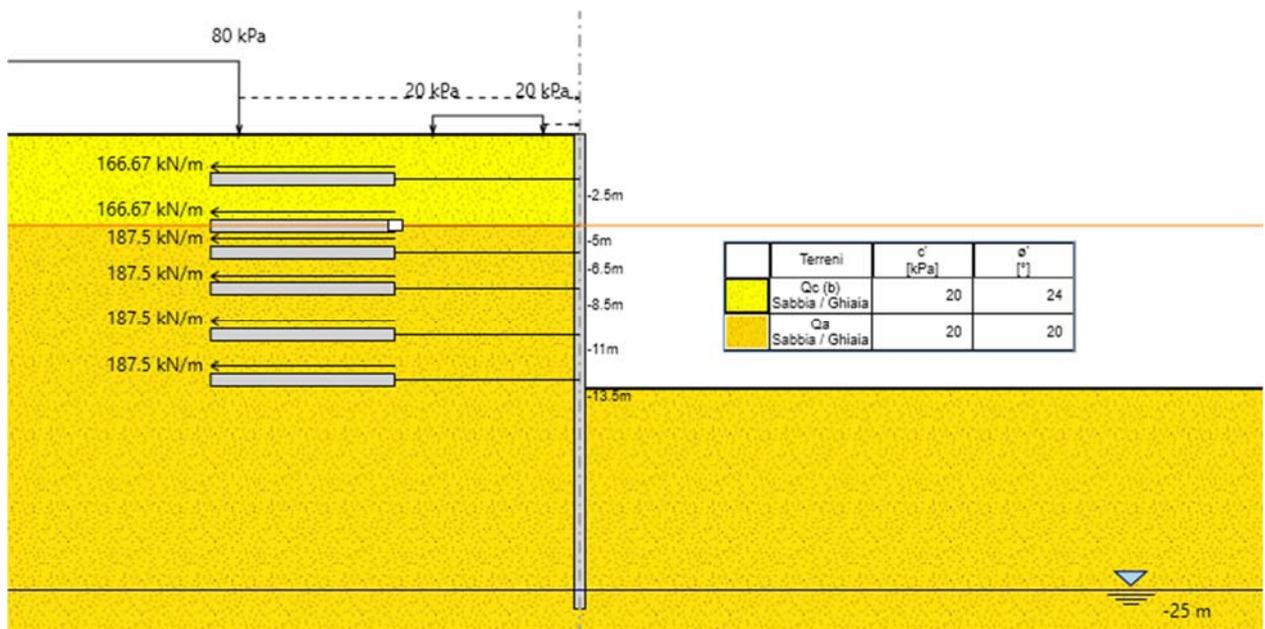


Figura 7.7 Figura esplicativa del modello di calcolo.

### 7.2.1 Verifiche strutturali pali

Si riportano, di seguito, le sollecitazioni massime agenti sui micropali e le verifiche strutturali, valutate per la combinazione A1+M1+R1 attraverso il software ParatiePLUS.

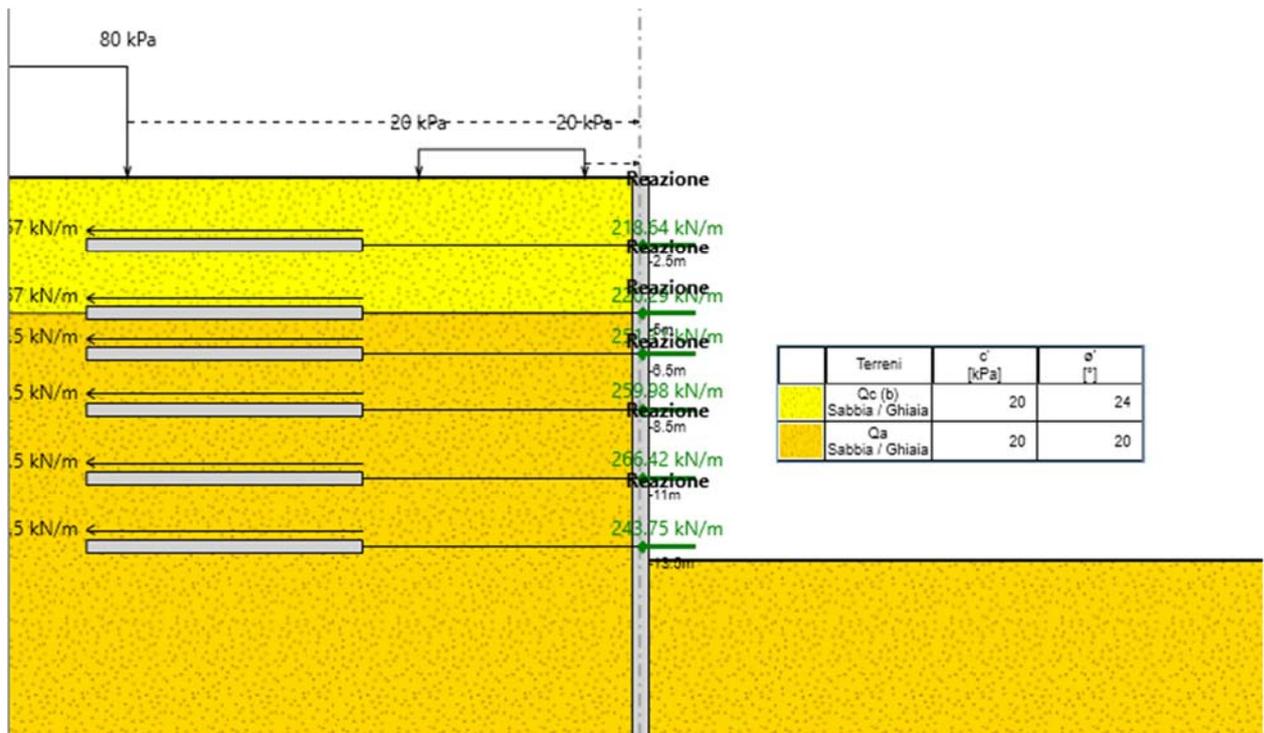


Figura 7-8 Rappresentazione dello schema di calcolo.

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

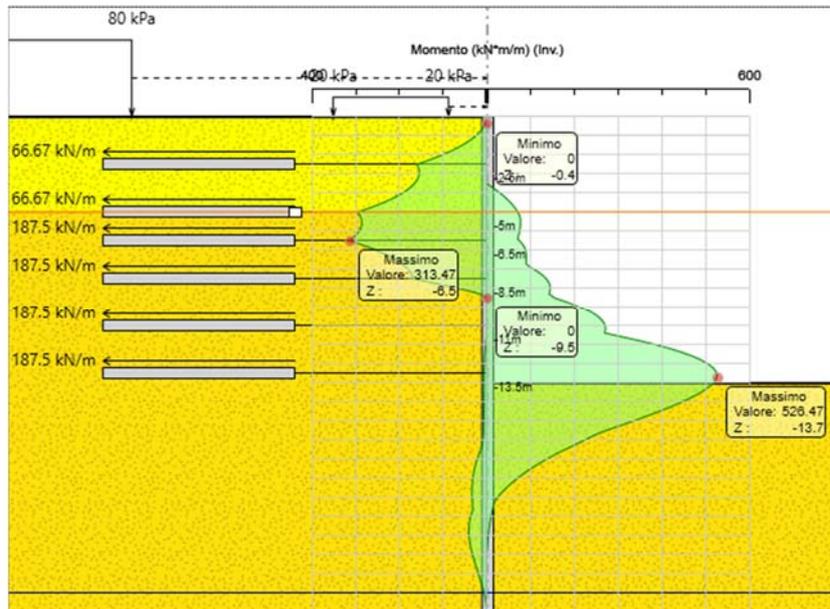


Figura 7-9 Momento flettente agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

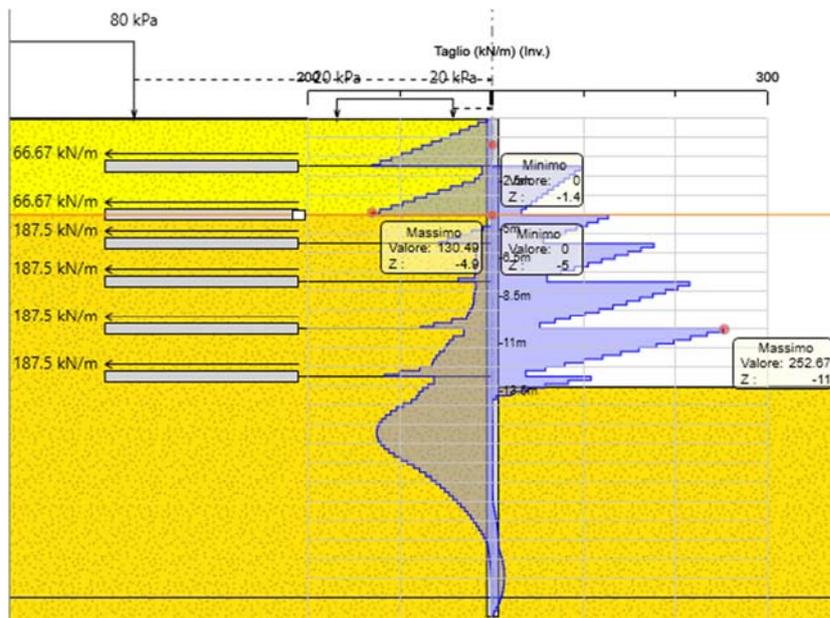


Figura 7-10 Taglio agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

A metro lineare, le massime sollecitazioni di calcolo sono pari a:

$$M_d = 526.0 \text{ kNm/m}$$

$$V_d = 252.0 \text{ kN/m}$$

Sul singolo palo (interasse 1.20 m):

$$M_d = 631.2 \text{ kNm}$$

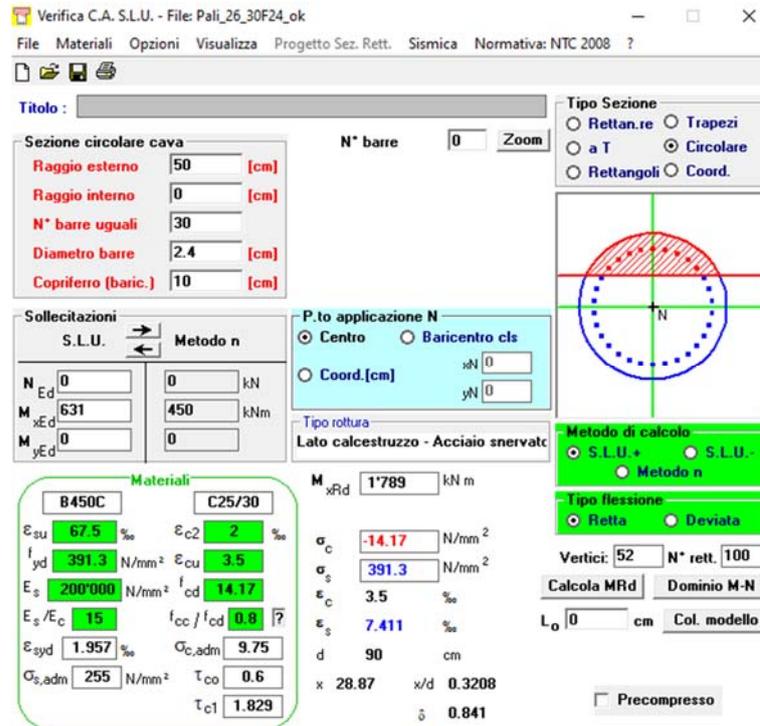
$$V_d = 302.4 \text{ kN}$$

Si riportano le verifiche agli SLU.

### 7.2.1.1 Pressoflessione

Palo  $\phi 1000$  (classe di resistenza C25/30) armato con **30  $\phi 24$**  (FeB450C).

Si considera la Nd dovuta al solo peso proprio, trascurabile ai fini delle verifiche.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali\_26\_30F24\_ok

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2.4 [cm]  
Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 631 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 1'789 kN m

**Materiali**  
B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 9.75  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6  
 $\tau_{c1}$ : 1.829

$\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 7.411 ‰  
d: 90 cm  
x: 28.87 x/d: 0.3208  
 $\delta$ : 0.841

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

La verifica è soddisfatta.

### 7.2.1.2 Taglio

Sezione quadrata inscritta di lato 70 cm; armature costituita da staffe  $\phi 12$  passo 20 cm (acciaio B450C).

<b>Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio</b>			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} = 302.4$	<i>kN</i>	
Altezza della sezione	$h = 700$	mm	
Copriferro della sezione	$\delta = 70$	mm	
Altezza utile della sezione	$d = 630$	mm	
Diametro delle staffe	$d_w = 12$	mm	
Numero di braccia	$n_w = 2$		
Area totale staffe	$A_{sw} = 226.08$	mm <sup>2</sup>	
Passo delle staffe	$s = 200$	mm	
Inclinazione delle staffe	$\alpha = 90$	deg	
Inclinazione delle bielle compresse	$\theta = 21.8$	deg	$\cot(\theta) = 2.50$
Larghezza minima della sezione	$b_w = 700$	mm	
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	$\alpha_c = 1.2$		
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"</b>	$V_{Rsd} = 627.0$	<i>kN</i>	$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-compressione"</b>	$V_{Rcd} = 1158.6$	<i>kN</i>	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	$V_{Rd} = 627.0$	<i>kN</i>	$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$
<b>Esito della verifica</b>	<b>soddisfatta</b>		

La verifica è soddisfatta.

### 7.2.2 \_\_ Spostamenti

Il massimo spostamento, in condizioni di esercizio, in assenza di sisma, è pari a 9.6 mm.

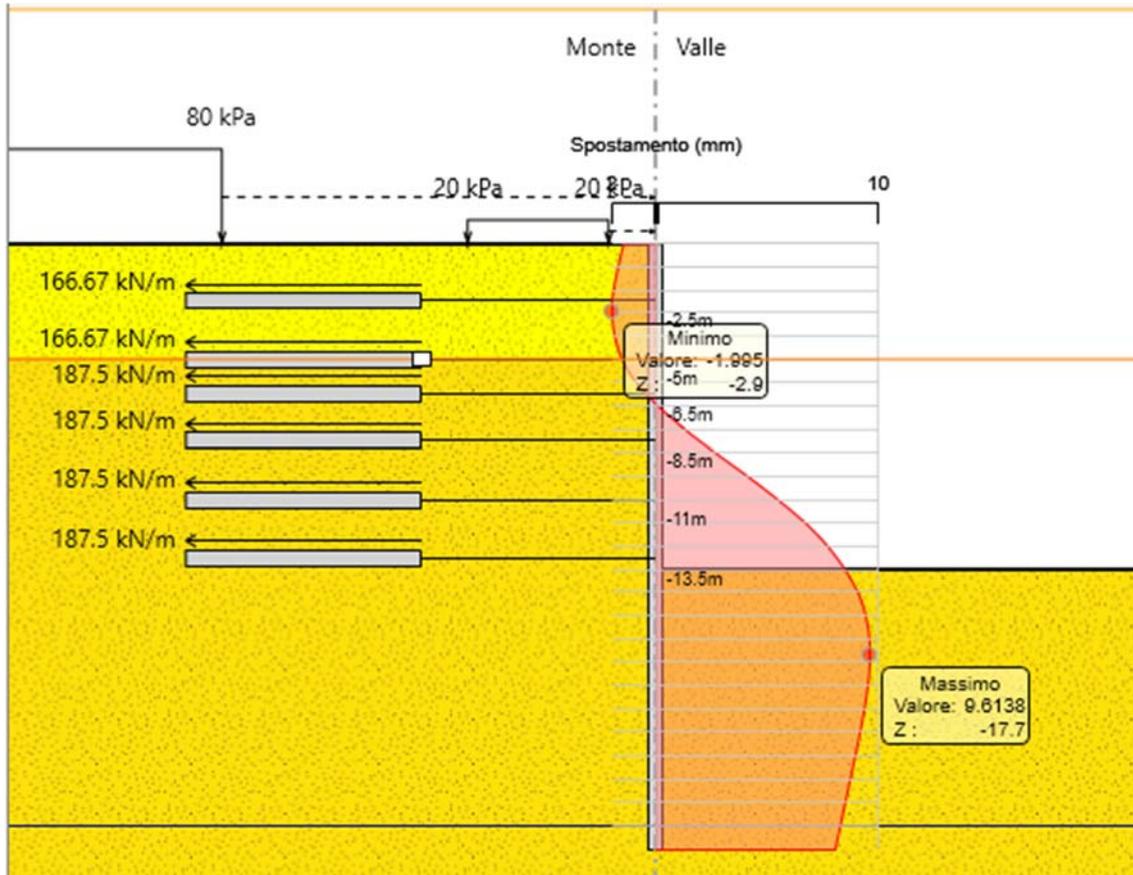


Figura 7-11 Spostamenti Paratia

### 7.2.4 \_\_ Stabilità globale

Come indicato al punto 6.5.3.1.2 del D.M. 2008, le verifiche di stabilità globale sono state condotte per la combinazione A2+M2+R2, in fase statica e fase sismica. Il metodo di calcolo adottato è quello di Bishop. Si riporta la figura del FS minimo ottenuto.

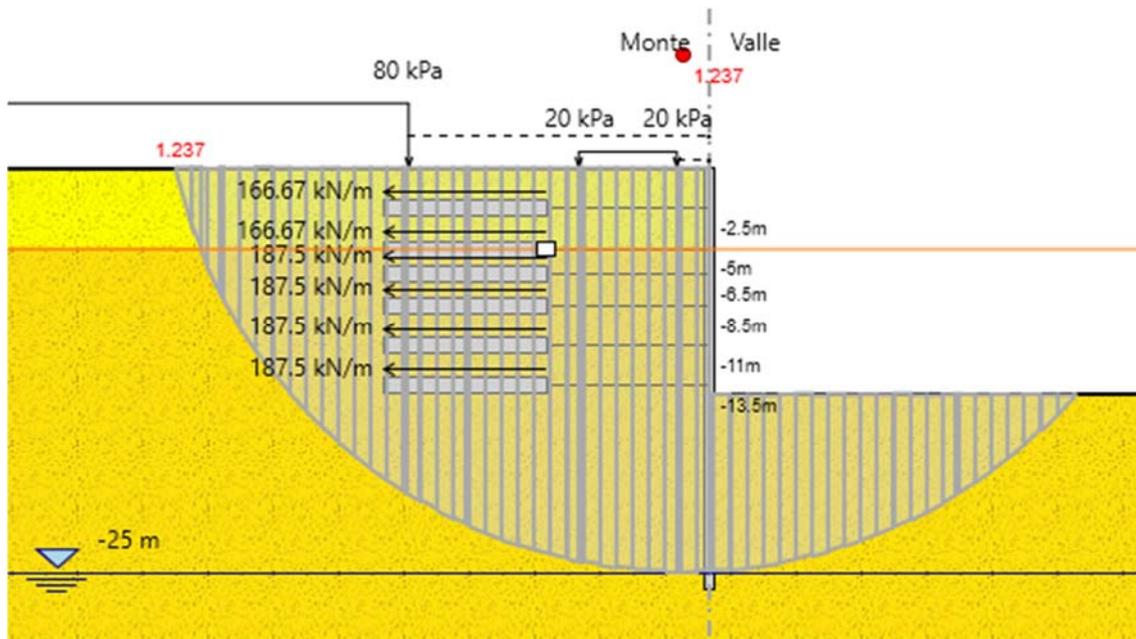


Figura 7-12 Stabilità globale – Fase sismica - Paratia imbocco Nord

#### 7.4 IMBOCCO NORD H = 12 M

La paratia è costituita da una successione di pali Ø1000, posti ad interasse di 1.20 m, di lunghezza massima pari a 22 m. La parati sarà contrastata con ordini di tiranti posti ad interasse di 2.40 m con inclinazione variabile Tale azione di contrasto verrà distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S275 della serie HEB200.

Per il dimensionamento della paratia si è considerata un'altezza di scavo massima pari a 12.0 m.

La stratigrafia di calcolo, a partire da p.c., è costituita da:

Stratigrafia [da p.c.]	Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (MPa)
da 0 a 5 m	Qc (a)	18,5	20	24	70
da 5 a 20	Qa	18,5	20	20	25

Si considera la falda a 25,0 m dal piano campagna.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva è stata effettuata facendo ricorso alla teoria di Mononobe-Okabe (rapporto  $\delta/\phi'=0.5$ ) mentre la valutazione dei coefficienti di spinta passiva è stata effettuata con la teoria di Caquot-Kerisel considerando a favore di sicurezza un rapporto  $\delta/\phi'=0$ .

Nel calcolo sono state considerate le seguenti fasi:

1. Inizializzazione del modello con fase geostatica e realizzazione della paratia
2. Scavo per la realizzazione del primo tirante
3. Messa in opera del tirante
4. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo e ripetizione delle fasi 3 e 4 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo
5. Scavo finale
6. Applicazione del sisma
7. Stabilità globale

Le fasi sopra riportate, nel calcolo sono ripetute per le diverse combinazioni:

- SLU: A1+M1+R1
- SLU: A2+M2+R2
- SLE

In allegato sono riportati tutti i dettagli dei calcoli eseguiti.

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa del modello di calcolo:

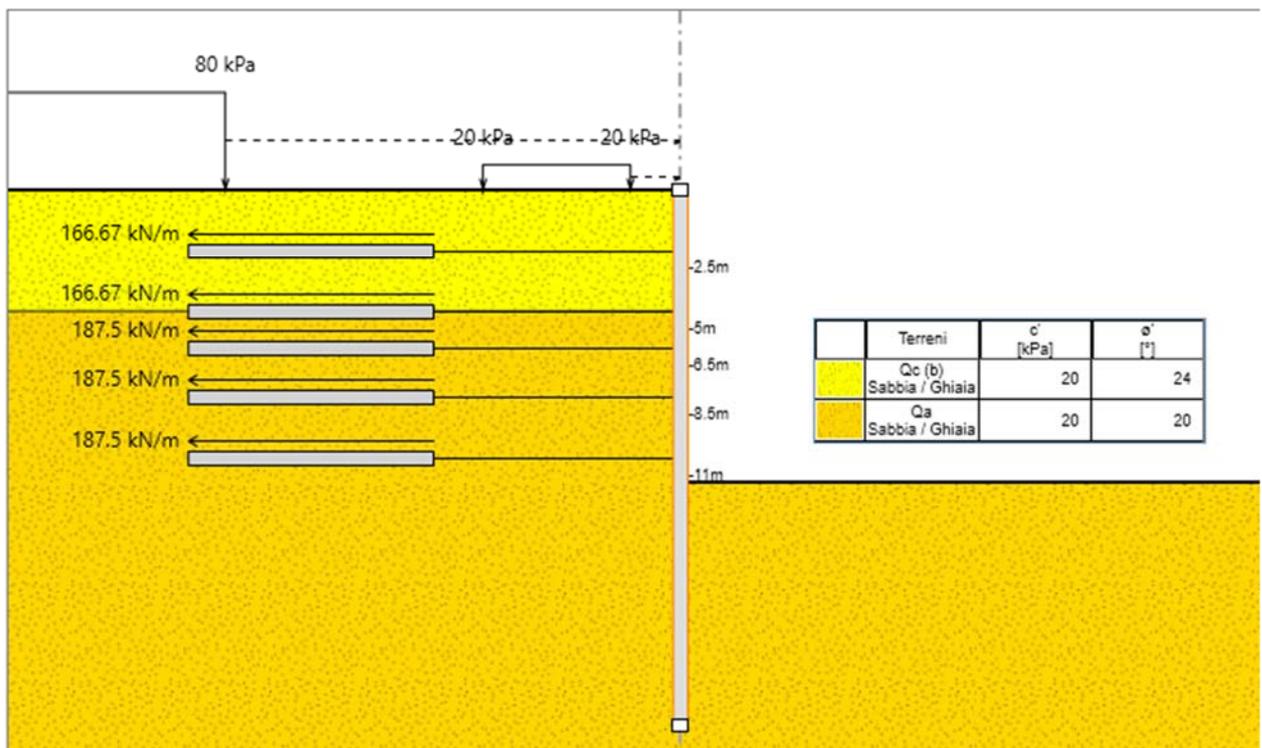


Figura 7.13 Figura esplicativa del modello di calcolo adottato per la sezione frontale di imbocco.

### 7.4.1 Verifiche strutturali pali

Si riportano, di seguito, le sollecitazioni massime agenti sui micropali e le verifiche strutturali, valutate per la combinazione A1+M1+R1 attraverso il software ParatiePLUS.

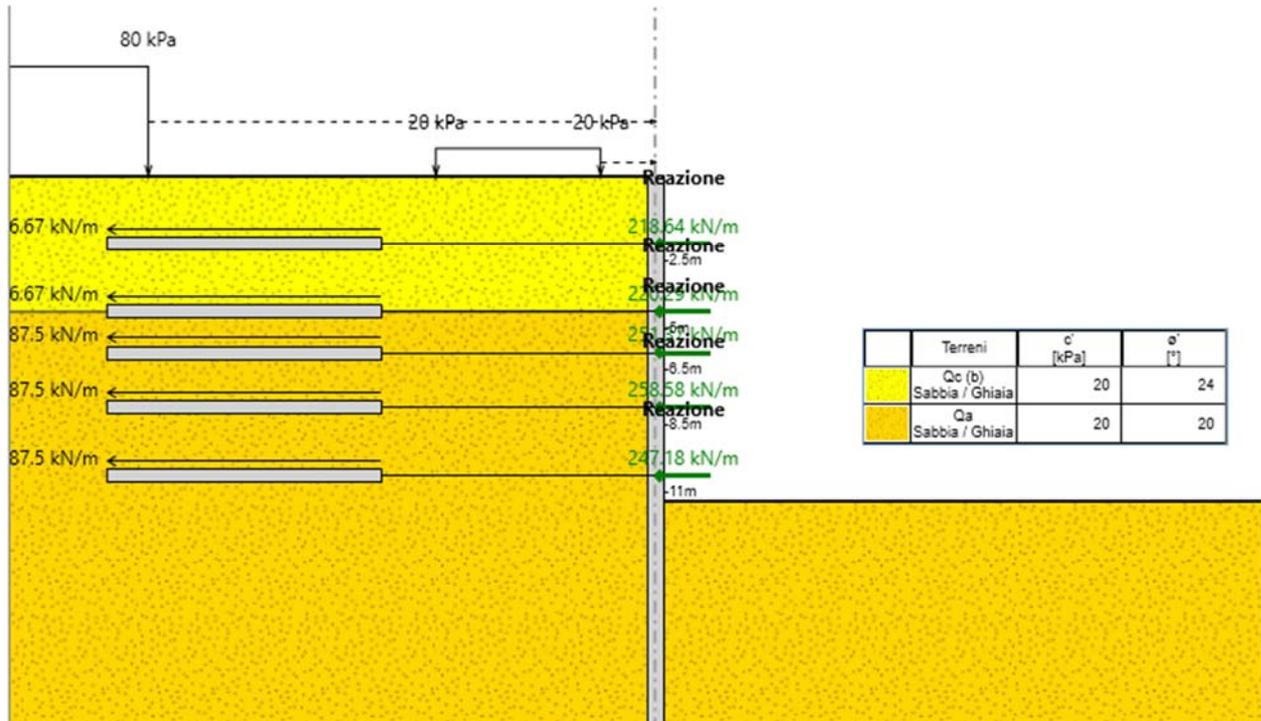


Figura 7-14 Rappresentazione dello schema di calcolo.

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

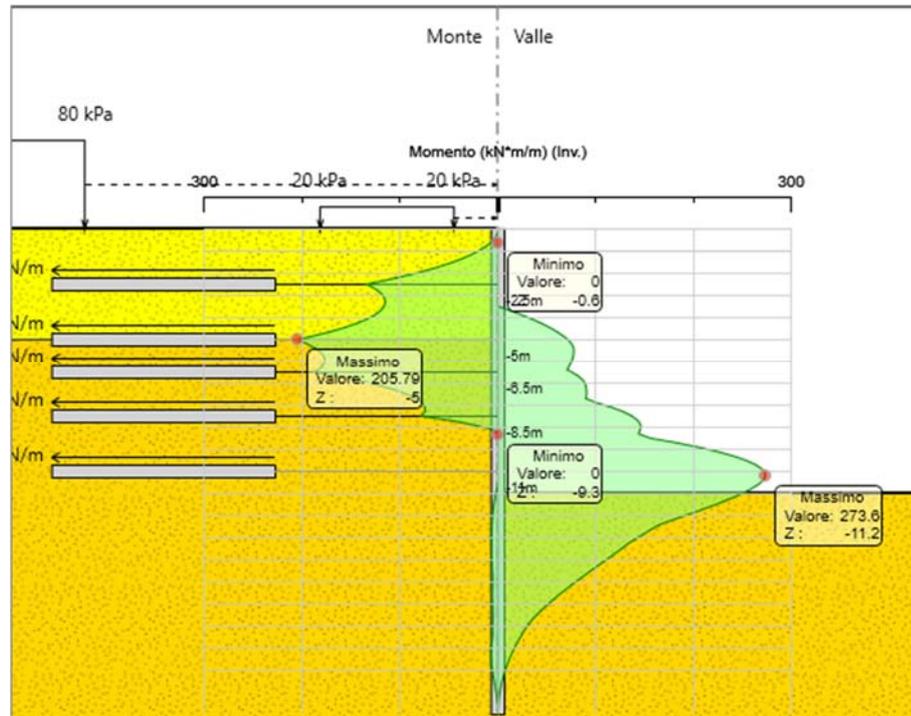


Figura 7-15 Momento flettente agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - involucro

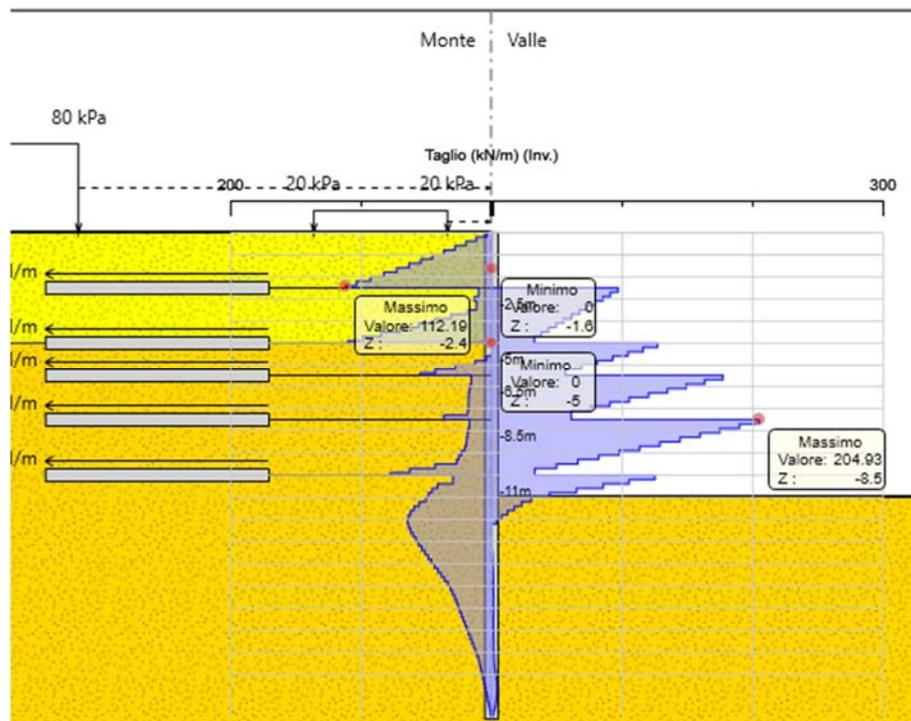


Figura 7-16 Taglio agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - involucro

A metro lineare, le massime sollecitazioni di calcolo sono pari a:

$$M_d = 273.0 \text{ kNm/m}$$

$$V_d = 205.0 \text{ kN/m}$$

Sul singolo palo (interasse 1.20 m):

$$M_d = 327.6 \text{ kNm}$$

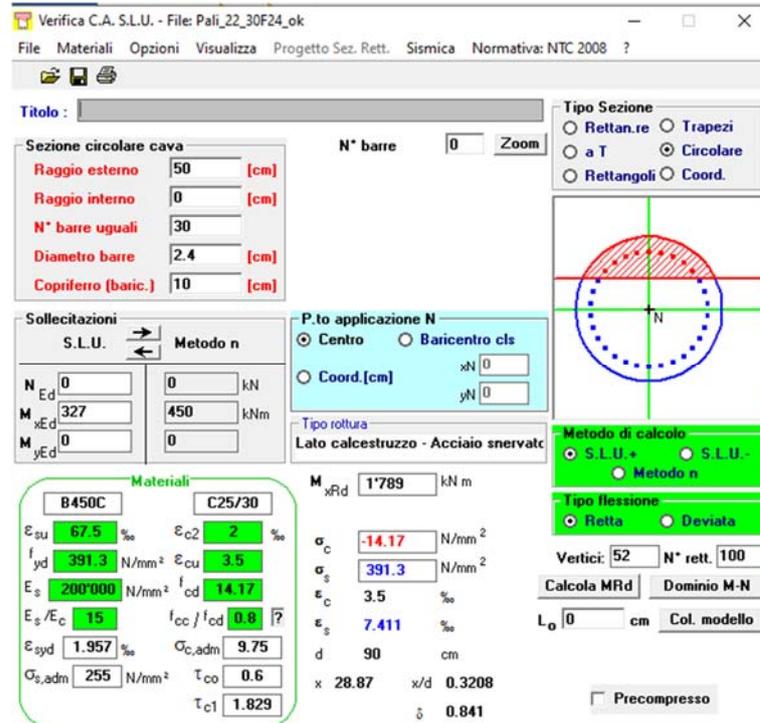
$$V_d = 246 \text{ kN}$$

Si riportano le verifiche agli SLU.

### 7.4.1.1 Pressoflessione

Palo  $\phi 1000$  (classe di resistenza C25/30) armato con **30  $\phi 24$**  (FeB450C).

Si considera la Nd dovuta al solo peso proprio, trascurabile ai fini delle verifiche.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali\_22\_30F24\_ok

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2.4 [cm]  
Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 327 450 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 1789 kNm

**Materiali**

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $G_{c,adm}$ : 9.75  
 $G_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6  
 $\tau_{c1}$ : 1.829

$\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 7.411 ‰  
d: 90 cm  
x: 28.87 x/d: 0.3208  
 $\delta$ : 0.841

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello  
 Precompresso

La verifica è soddisfatta.

### 7.4.1.2 Taglio

Sezione quadrata inscritta di lato 70 cm; armature costituita da staffe  $\phi 12$  passo 20 cm (acciaio B450C).

<b>Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio</b>			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	246	kN
Altezza della sezione	$h =$	700	mm
Copriferro della sezione	$\delta =$	70	mm
Altezza utile della sezione	$d =$	630	mm
Diametro delle staffe	$d_w =$	12	mm
Numero di braccia	$n_w =$	2	
Area totale staffe	$A_{sw} =$	226.08	mm <sup>2</sup>
Passo delle staffe	$s =$	200	mm
Inclinazione delle staffe	$\alpha =$	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	$\theta =$	21.8	deg
Larghezza minima della sezione	$b_w =$	700	mm
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	$\alpha_c =$	1.2	
			$\cot(\theta) = 2.50$
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"</b>	$V_{Rsd} =$	627.0	kN
		$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) \cdot \sin\alpha$	
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-compressione"</b>	$V_{Rcd} =$	1158.6	kN
		$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) / (1 + \ctg^2\theta)$	
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	$V_{Rd} =$	627.0	kN
		$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$	
<b>Esito della verifica</b>	<b>soddisfatta</b>		

La verifica è soddisfatta.

### 7.4.2 \_\_ Spostamenti

Il massimo spostamento, in condizioni di esercizio, in assenza di sisma, è pari a 7 mm.

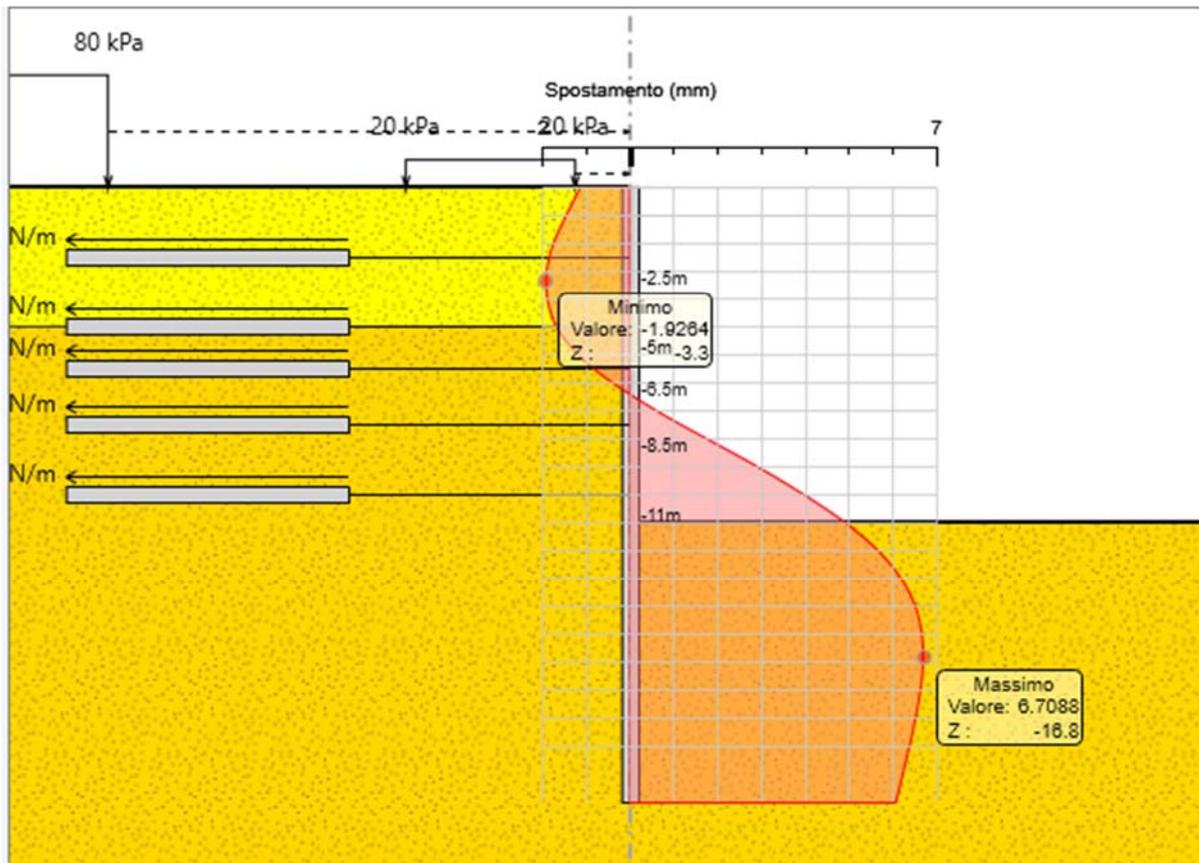


Figura 7-17 Spostamenti Paratia

#### 7.4.4 \_\_ Stabilità globale

Come indicato al punto 6.5.3.1.2 del D.M. 2008, le verifiche di stabilità globale sono state condotte per la combinazione A2+M2+R2, in fase statica e fase sismica. Il metodo di calcolo adottato è quello di Bishop. Si riporta la figura del FS minimo ottenuto.

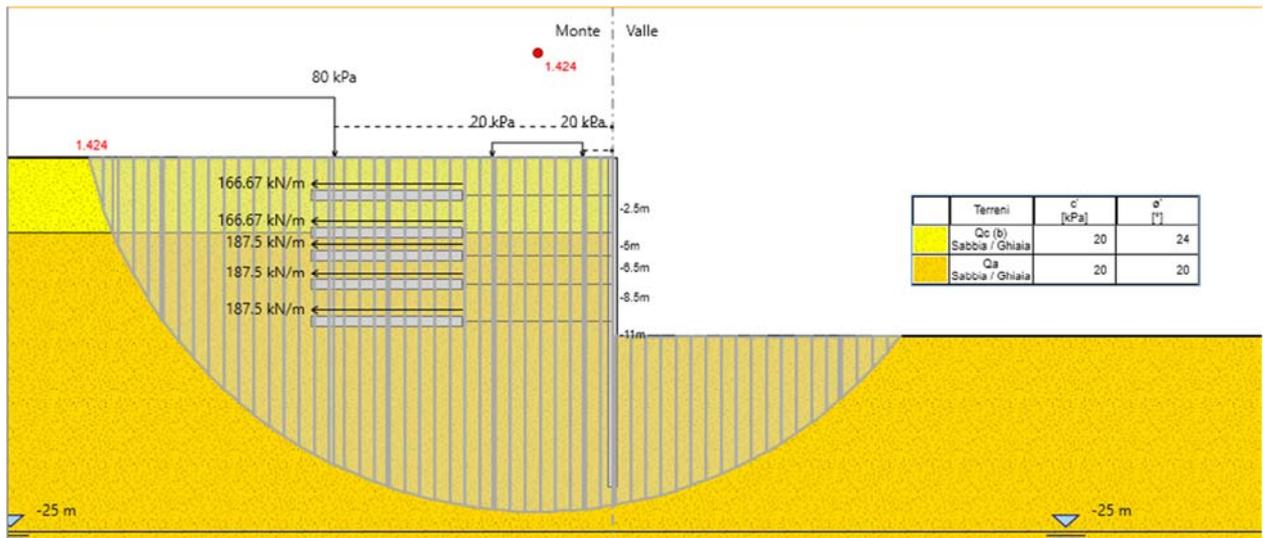


Figura 7-18 Stabilità globale – Fase sismica - Paratia imbocco Nord

## 7.6 IMBOCCO NORD H = 9.5 M

La paratia è costituita da una successione di pali Ø1000, posti ad interasse di 1.20 m, di lunghezza massima pari a 18 m. La paratia sarà contrastata con ordini di tiranti posti ad interasse di 2.4 m con inclinazione  $\alpha = 15^\circ$ . Tale azione di contrasto verrà distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S275 della serie HEB200.

Per il dimensionamento della paratia si è considerata un'altezza di scavo massima pari a 9.5 m.

La stratigrafia di calcolo, a partire da p.c., è costituita da:

Stratigrafia [da p.c.]	Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (MPa)
da 0 a 5 m	Qc (a)	18,5	20	24	70
da 5 a 20	Qa	18,5	20	20	25

Si considera la falda a 25,0 m dal piano campagna.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva è stata effettuata facendo ricorso alla teoria di Mononobe-Okabe (rapporto  $\delta/\phi'=0.5$ ) mentre la valutazione dei coefficienti di spinta passiva è stata effettuata con la teoria di Caquot-Kerisel considerando a favore di sicurezza un rapporto  $\delta/\phi'=0$ .

Nel calcolo sono state considerate le seguenti fasi:

1. Inizializzazione del modello con fase geostatica e realizzazione della paratia
2. Scavo per la realizzazione del primo tirante
3. Messa in opera del tirante
4. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo e ripetizione delle fasi 3 e 4 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo
5. Scavo finale
6. Applicazione del sisma
7. Stabilità globale

Le fasi sopra riportate, nel calcolo sono ripetute per le diverse combinazioni:

- SLU: A1+M1+R1
- SLU: A2+M2+R2
- SLE

In allegato sono riportati tutti i dettagli dei calcoli eseguiti.

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa del modello di calcolo:

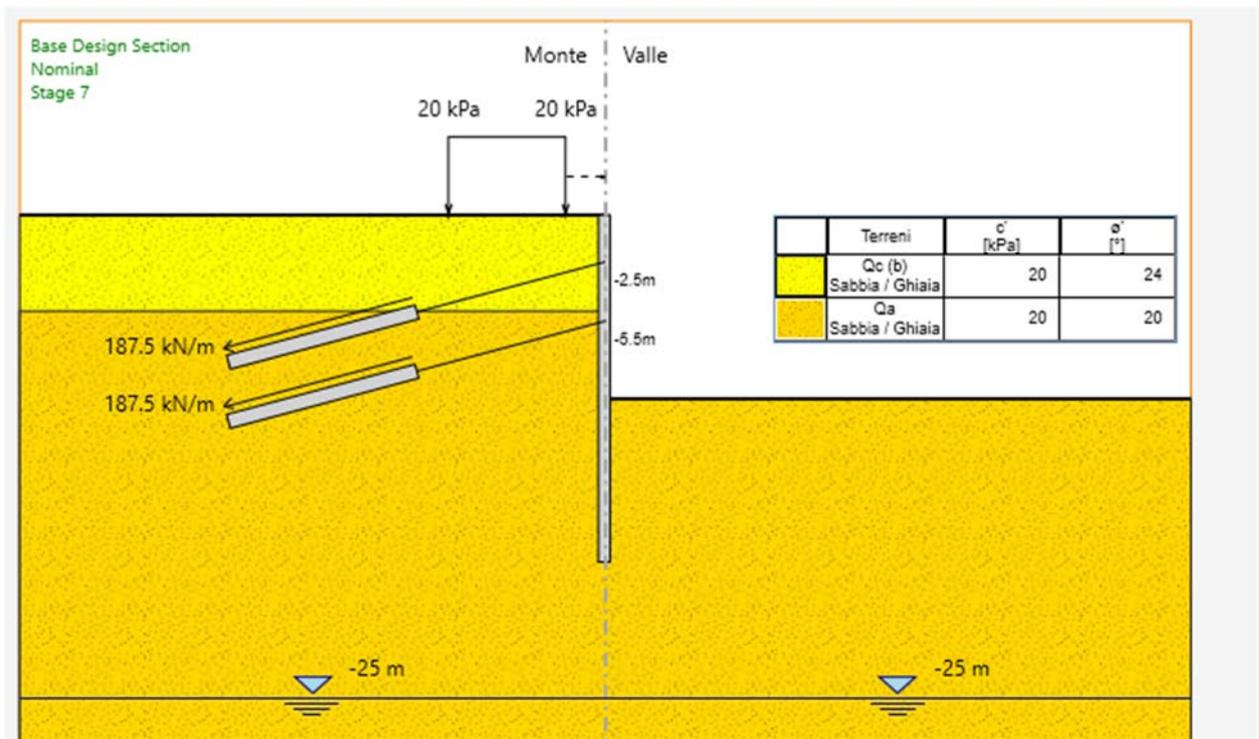


Figura 7.19 Figura esplicativa del modello di calcolo adottato per la sezione frontale di imbocco.

### 7.6.1 Verifiche strutturali pali

Si riportano, di seguito, le sollecitazioni massime agenti sui micropali e le verifiche strutturali, valutate per la combinazione A1+M1+R1 attraverso il software ParatiePLUS.

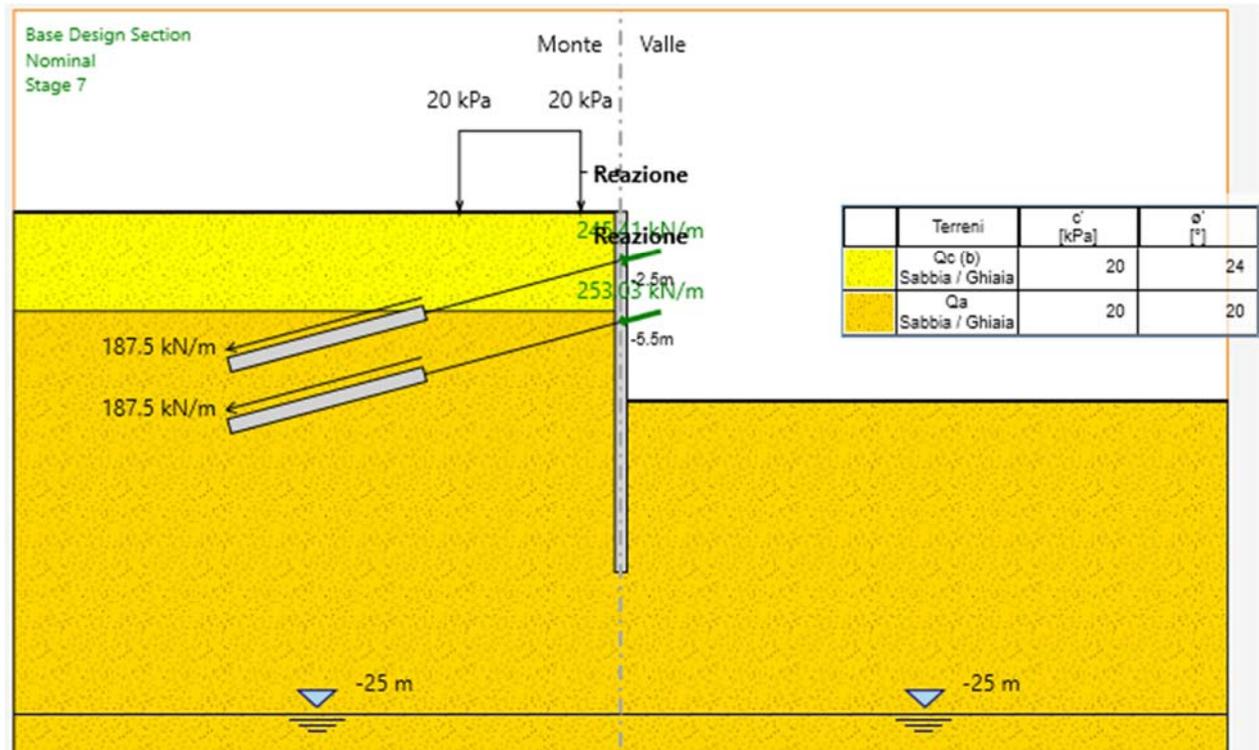


Figura 7-20 Rappresentazione dello schema di calcolo.

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

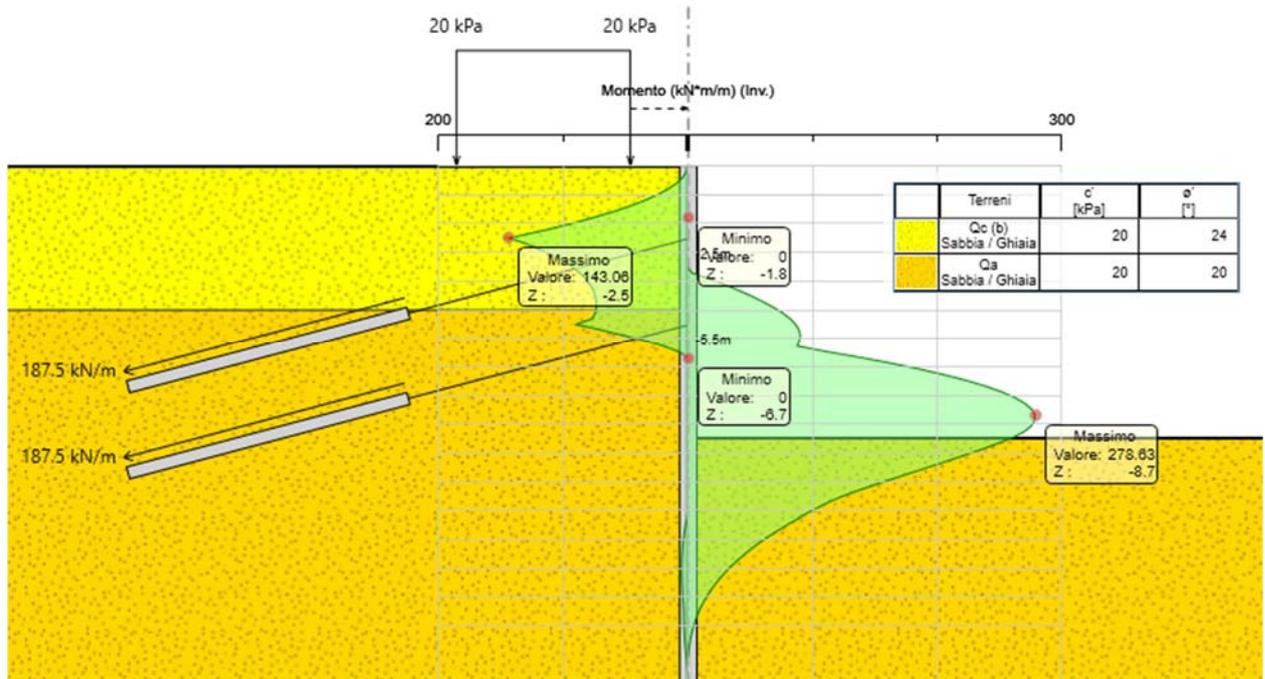


Figura 7-21 Momento flettente agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

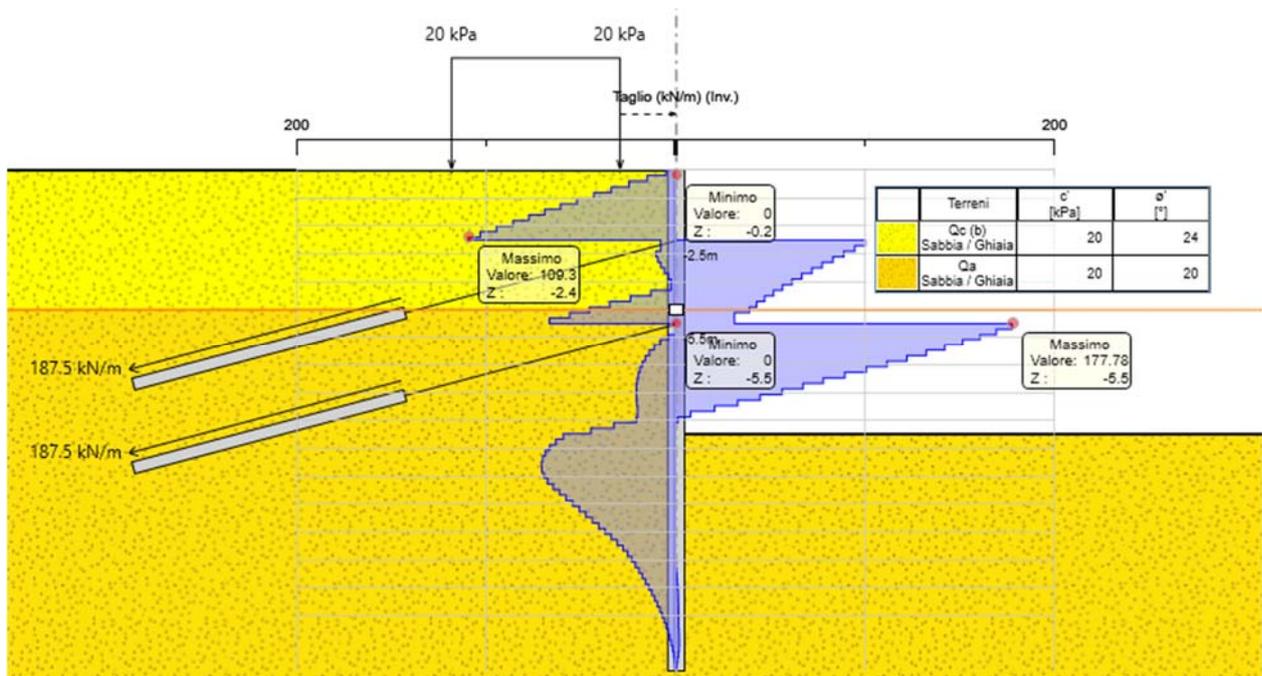


Figura 7-22 Taglio agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

A metro lineare, le massime sollecitazioni di calcolo sono pari a:

$$M_d = 278 \text{ kNm/m}$$

$$V_d = 177 \text{ kN/m}$$

Sul singolo palo (interasse 1.20 m):

$$M_d = 333.6 \text{ kNm}$$

$$V_d = 212.4 \text{ kN}$$

Si riportano le verifiche agli SLU.

### 7.6.1.1 Pressoflessione

Palo  $\phi 1000$  (classe di resistenza C25/30) armato con **20  $\phi 20$**  (FeB450C).

Si considera la Nd dovuta al solo peso proprio, trascurabile ai fini delle verifiche.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali\_18\_20F20\_ok

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]

Raggio interno: 0 [cm]

N° barre uguali: 20

Diametro barre: 2 [cm]

Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

File

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 [kN]

M<sub>xEd</sub>: 333.6 [kNm]

M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviato

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 [cm] Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰

$f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰

$E_s$ : 200000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17

$E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8

$\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\tau_{co}$ : 0.6

$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{c1}$ : 1.829

M<sub>xRd</sub>: 916.5 [kNm]

$\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$ : 3.5 ‰

$\epsilon_s$ : 11.13 ‰

d: 90 [cm]

x: 21.52 x/d: 0.2392

$\delta$ : 0.7389

La verifica è soddisfatta.

### 7.6.1.2 Taglio

Sezione quadrata inscritta di lato 70 cm; armature costituita da staffe  $\phi 12$  passo 20 cm (acciaio B450C).

<b>Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio</b>			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	213	kN
Altezza della sezione	$h =$	700	mm
Copriferro della sezione	$\delta =$	70	mm
Altezza utile della sezione	$d =$	630	mm
Diametro delle staffe	$d_w =$	12	mm
Numero di braccia	$n_w =$	2	
Area totale staffe	$A_{sw} =$	226.08	mm <sup>2</sup>
Passo delle staffe	$s =$	200	mm
Inclinazione delle staffe	$\alpha =$	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	$\theta =$	21.8	deg
Larghezza minima della sezione	$b_w =$	700	mm
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	$\alpha_c =$	1.2	
			$\cot(\theta) = 2.50$
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"</b>	$V_{Rsd} =$	627.0	kN
		$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-compressione"</b>	$V_{Rcd} =$	1158.6	kN
		$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \dots)$	
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	$V_{Rd} =$	627.0	kN
		$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$	
<b>Esito della verifica</b>	<b>soddisfatta</b>		

La verifica è soddisfatta.

### 7.6.3 \_\_ Spostamenti

Il massimo spostamento, in condizioni di esercizio, in assenza di sisma, è pari a 5.8 mm.

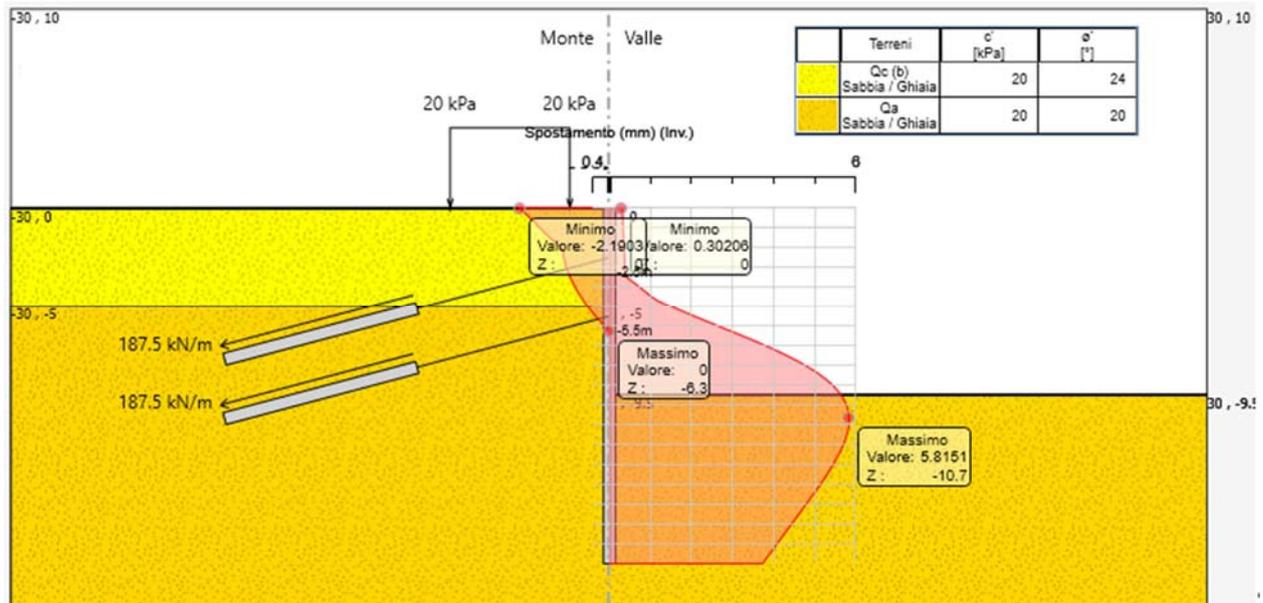


Figura 7-23 Spostamenti Paratia

### 7.6.4 \_\_ Stabilità globale

Come indicato al punto 6.5.3.1.2 del D.M. 2008, le verifiche di stabilità globale sono state condotte per la combinazione A2+M2+R2, in fase statica e fase sismica. Il metodo di calcolo adottato è quello di Bishop. Si riporta la figura del FS minimo ottenuto.

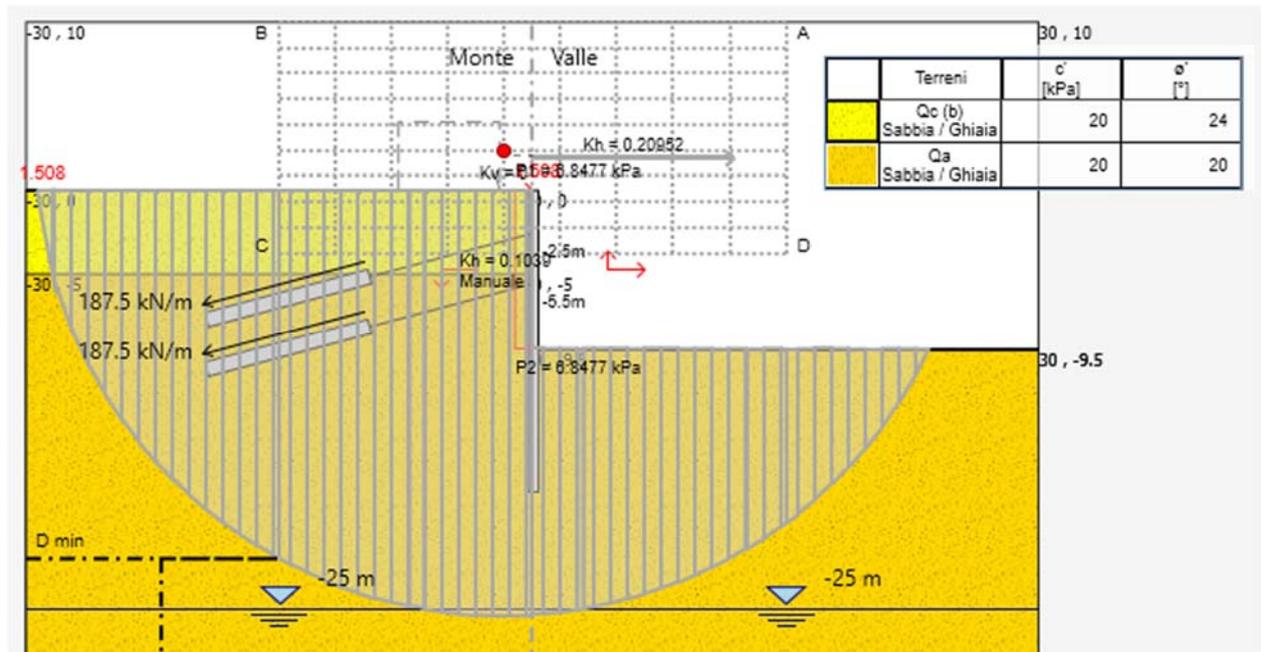


Figura 7-24 Stabilità globale – Fase sismica - Paratia imbrocco Nord

### 7.6.6 Verifica Tiranti

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime ottenute sui tiranti delle sezioni di calcolo con altezza 9.5 .

Ordine	Interasse (m)	Inclinazione (°)	Trefoli	Pre Tensione (kN)	Reazione (kN)	N esercizio (kN)
T3	2.4	15	5	450	589.0	453.1
T5	2.4	15	5	450	607.3	467.1

Si riportano di seguito le verifica sulla fila di tiranti, che dalle analisi numeriche, risulta essere più sollecitata.

Numero trefoli:	n =	5	
Area singolo trefolo At:		140	(mm <sup>2</sup> )
Area complessiva dell'acciaio (A = n·At):		698.83	(mm <sup>2</sup> )
Diametro equivalente dei trefoli $Deq = (A \cdot 4 / \pi)^{0.5}$	Deq =	29.83	(mm)
Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio ( $f_{ptk}$ )		1860	(MPa)
Tensione caratt. all'1% di deformazione dell'acciaio ( $f_{p(1)k}$ )		1670	(MPa)
Malta di iniezione Rck:		25	(MPa)
Adesione malta-acciaio e malta-corrugato:	$\tau_{cls} =$	0.40	(MPa)
$\gamma_R = 1.1$ (tiranti provvisionali)			
$\xi_3 = 1.80$ $\xi_4 = 1.80$			
$N_G$ Azione permanente sul tirante:		607.3	kN
$N_Q$ Azione variabile sul tirante:		0	kN
$N_t$ Azione di calcolo ( $N_G \cdot \gamma_g + N_Q \cdot \gamma_q$ ):		607.3	kN

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

**Aderenza Malta -Terreno  $L = Nt \cdot Fs / (Ds \cdot p \cdot s_d)$**

D (cm) Diametro della perforazione =	200	(mm)
$\alpha$ (-) Coeff. moltiplicativo =	1.2	
Ds (cm) Diametro di calcolo ( $Ds = \alpha \cdot D$ ) =	240	(mm)
$s_k$ (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno =	0.10	(MPa)
$s_k$ (MPa) tensione unitaria minima di aderenza malta - terreno =	0.10	(MPa)
$s_d$ (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno =	0.05	(MPa)
$s_d = \text{Min}(s_{med} / \zeta_3 \gamma_s ; s_{min} / \zeta_4 \gamma_s)$		
Lunghezza di ancoraggio <b>L =</b>	<b>15.9</b>	(m)

**Verifica a trazione dell'armatura**

$N = N_G + N_Q =$	607.3	(kN)
UNI EN 1537 $N \leq 0.65 \cdot f_{ptk} \cdot n \cdot A_t =$	844.89	(kN)

**Verifica nel rispetto della gerarchia delle resistenze par.6.6.2 NTC2008**

Tensione caratt. all'1% di deformazione dell'acciaio ( $f_{p(1)\%}$ )	1670	MPa
Diametro del trefolo	13.34	mm
Resistenza caratt. al limite di snervamento della lungh. libera	1167.05	kN
Resistenza a sfilamento della fondazione	844.89	kN

Le verifiche sono soddisfatte.

La lunghezza libera del tirante si ottiene dalla seguente relazione:

$$L_{libera} = (h + t - h_i) \cdot \frac{\sin(45 - \phi/2)}{\sin(45 + \alpha + \phi/2)}$$

La lunghezza così ottenuta deve essere aumentata in base alle NTC 2008 (7.11.12) di:

$$L_e = L_s \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{a_{max}}{g} \right)$$

Quindi si ha:

Lunghezza libera T3		Lunghezza libera T5	
hi = prodonfità T3	2.5 m	hi = prodonfità T5	5.5 m
h = fuori terra paratia	9.5 m	h = fuori terra paratia	9.5 m
t = infissione paratia	8.5 m	t = infissione paratia	8.5 m
i = inclinazione tirante	15 °	i = inclinazione tirante	15 °
φ = angolo attrito	20 °	φ = angolo attrito	20 °
ag/g	0.2522	ag/g	0.2522
kp	35 °	kp	35 °
L libera	9.5 m	L libera	7.6 m
<b>L libera sisma</b>	<b>13.0 m</b>	<b>L libera sisma</b>	<b>11.0 m</b>

Si riporta in forma tabellare i risultati ottenuti delle lunghezze caratteristiche dei tiranti.

Si riporta in forma tabellare i risultati ottenuti delle lunghezze caratteristiche dei tiranti.

Ordine	Inclinazione Tirante (°)	Lunghezza Libera (m)	Lunghezza Ancoraggio (m)	Lunghezza Totale (m)
T3	10	22	18	40
T5	10	16	21	37

## 7.8 IMBOCCO NORD H = 4.5 M

La paratia è costituita da una successione di pali Ø1000, posti ad interasse di 1.20 m, di lunghezza massima pari a 14 m. La paratia sarà contrastata con ordini di tiranti posti ad interasse di 2.4 m con inclinazione  $\alpha = 15^\circ$ . Tale azione di contrasto verrà distribuita sui micropali dalle travi di collegamento e ripartizione previste lungo ciascun ordine, costituite da un doppio profilato in acciaio S275 della serie HEB200.

Per il dimensionamento della paratia si è considerata un'altezza di scavo massima pari a 4.5 m.

La stratigrafia di calcolo, a partire da p.c., è costituita da:

Stratigrafia [da p.c.]	Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (MPa)
da 0 a 5 m	Qc (a)	18,5	20	24	70
da 5 a 20	Qa	18,5	20	20	25

Si considera la falda a 25,0 m dal piano campagna.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva è stata effettuata facendo ricorso alla teoria di Mononobe-Okabe (rapporto  $\delta/\phi'=0.5$ ) mentre la valutazione dei coefficienti di spinta passiva è stata effettuata con la teoria di Caquot-Kerisel considerando a favore di sicurezza un rapporto  $\delta/\phi'=0$ .

Nel calcolo sono state considerate le seguenti fasi:

1. Inizializzazione del modello con fase geostatica e realizzazione della paratia
2. Scavo per la realizzazione del primo tirante
3. Messa in opera del tirante
4. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo e ripetizione delle fasi 3 e 4 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo
5. Scavo finale
6. Applicazione del sisma
7. Stabilità globale

Le fasi sopra riportate, nel calcolo sono ripetute per le diverse combinazioni:

- SLU: A1+M1+R1
- SLU: A2+M2+R2
- SLE

In allegato sono riportati tutti i dettagli dei calcoli eseguiti.

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa del modello di calcolo:

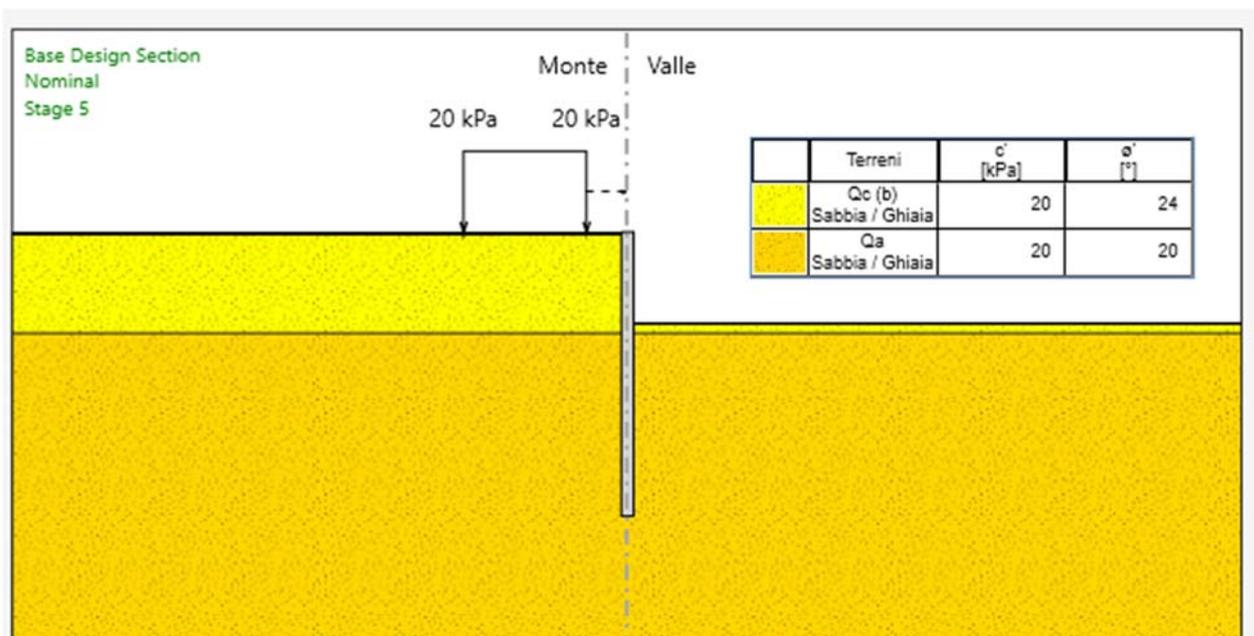


Figura 7.25 Figura esplicativa del modello di calcolo adottato.

### 7.8.1 Verifiche strutturali pali

Si riportano, di seguito, le sollecitazioni massime agenti sui micropali e le verifiche strutturali, valutate per la combinazione A1+M1+R1 attraverso il software ParatiePLUS.

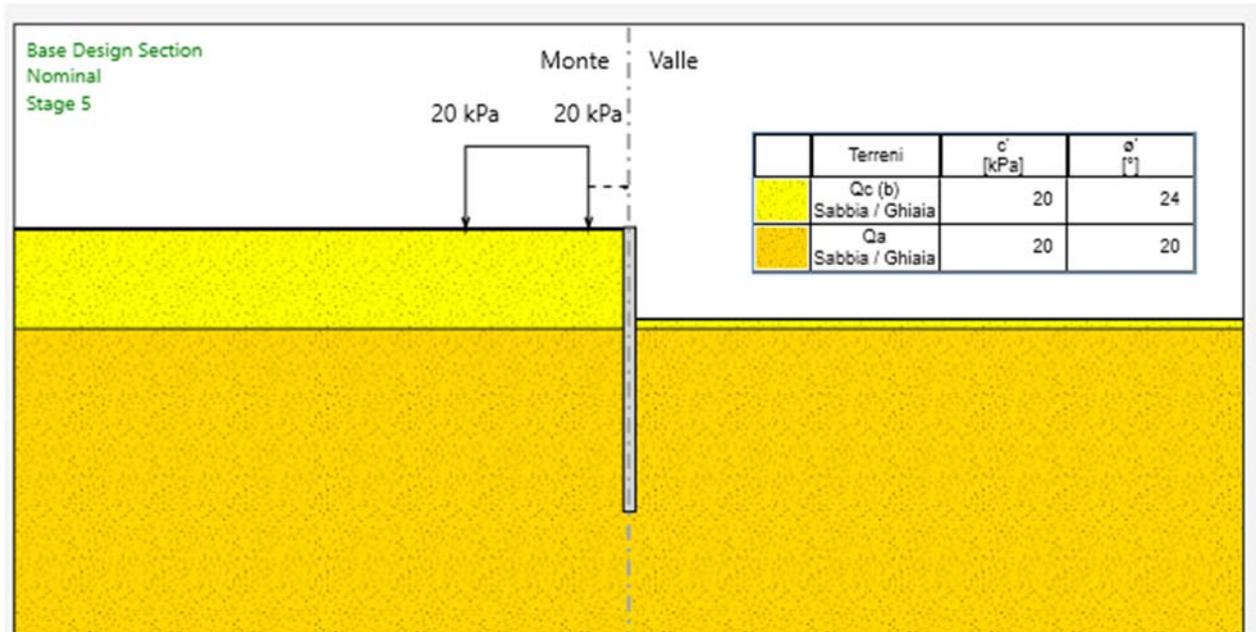


Figura 7-26 Rappresentazione dello schema di calcolo.

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

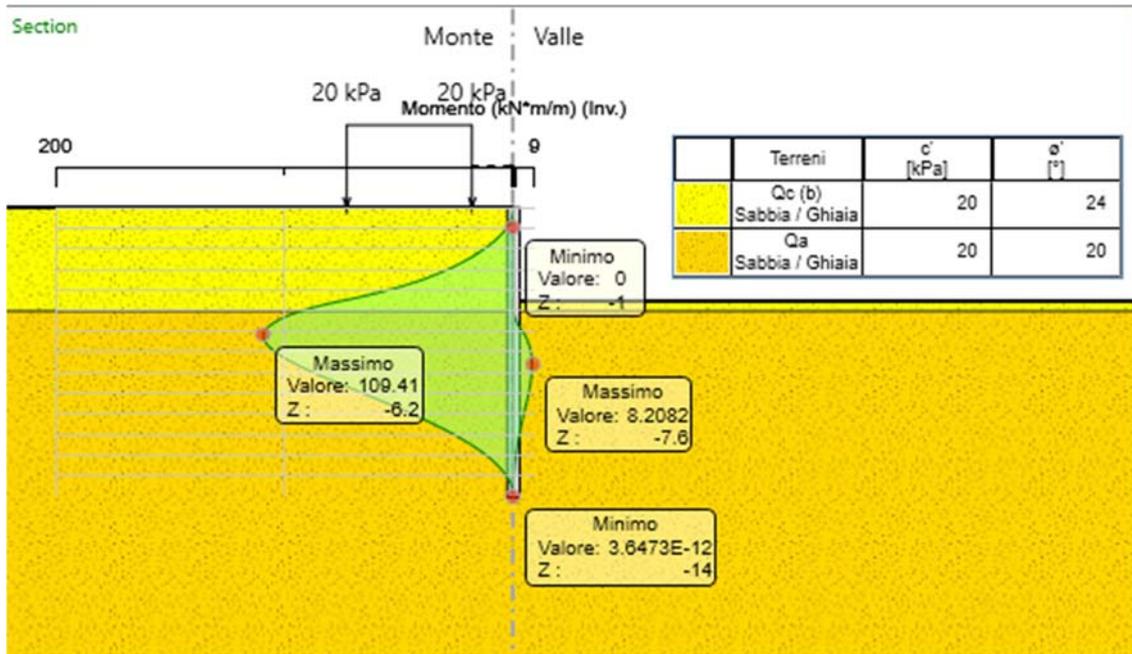


Figura 7-27 Momento flettente agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

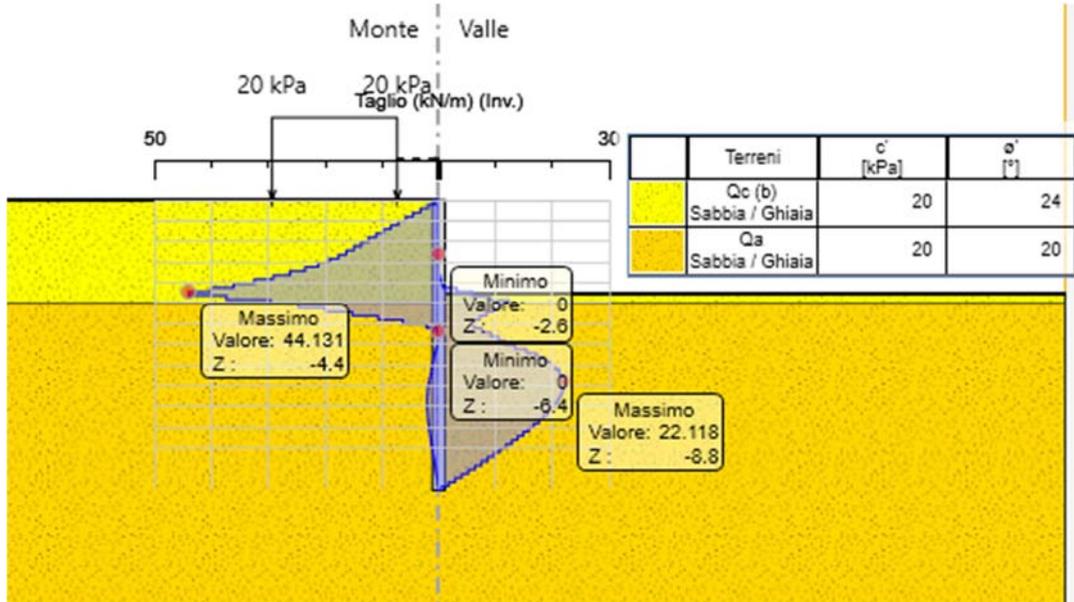


Figura 7-28 Taglio agente sulla paratia per ogni fase costruttiva - inviluppo

A metro lineare, le massime sollecitazioni di calcolo sono pari a:

$$M_d = 110 \text{ kNm/m}$$

$$V_d = 44 \text{ kN/m}$$

Sul singolo palo (interasse 1.20 m):

$$M_d = 132.0 \text{ kNm}$$

$$V_d = 53.0 \text{ kN}$$

Si riportano le verifiche agli SLU.

### 7.8.1.1 Pressoflessione

Palo  $\phi 1000$  (classe di resistenza C25/30) armato con **20  $\phi 20$**  (FeB450C).

Si considera la Nd dovuta al solo peso proprio, trascurabile ai fini delle verifiche.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pali\_14\_20F20\_ok

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 20  
Diametro barre: 2 [cm]  
Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 132 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 9.75  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6  
 $\tau_{c1}$ : 1.829

M<sub>xRd</sub>: 916.5 kN m  
 $\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 11.13 ‰  
d: 90 cm  
x: 21.52 x/d: 0.2392  
 $\delta$ : 0.7389

La verifica è soddisfatta.

### 7.8.1.2 Taglio

Sezione quadrata inscritta di lato 70 cm; armature costituita da staffe  $\phi 12$  passo 20 cm (acciaio B450C).

<b>Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio</b>			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	<b>53</b>	<i>kN</i>
Altezza della sezione	$h =$	<b>700</b>	<i>mm</i>
Copriferro della sezione	$\delta =$	<b>70</b>	<i>mm</i>
Altezza utile della sezione	$d =$	<b>630</b>	<i>mm</i>
Diametro delle staffe	$d_w =$	<b>12</b>	<i>mm</i>
Numero di braccia	$n_w =$	<b>2</b>	
Area totale staffe	$A_{sw} =$	<b>226.08</b>	<i>mm<sup>2</sup></i>
Passo delle staffe	$s =$	<b>200</b>	<i>mm</i>
Inclinazione delle staffe	$\alpha =$	<b>90</b>	<i>deg</i>
Inclinazione delle bielle compresse	$\theta =$	<b>21.8</b>	<i>deg</i> $\cot(\theta) = 2.50$
Larghezza minima della sezione	$b_w =$	<b>700</b>	<i>mm</i>
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	$\alpha_c =$	<b>1.2</b>	
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"</b>	$V_{Rsd} =$	<b>627.0</b>	<i>kN</i> $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$
<b>Resistenza di calcolo a "taglio-compressione"</b>	$V_{Rcd} =$	<b>1158.6</b>	<i>kN</i> $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	$V_{Rd} =$	<b>627.0</b>	<i>kN</i> $V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$
<b>Esito della verifica</b>	<b>soddisfatta</b>		

La verifica è soddisfatta.

### 7.8.3 \_\_ Spostamenti

Il massimo spostamento, in condizioni di esercizio, in assenza di sisma, è pari a 5.0 mm.

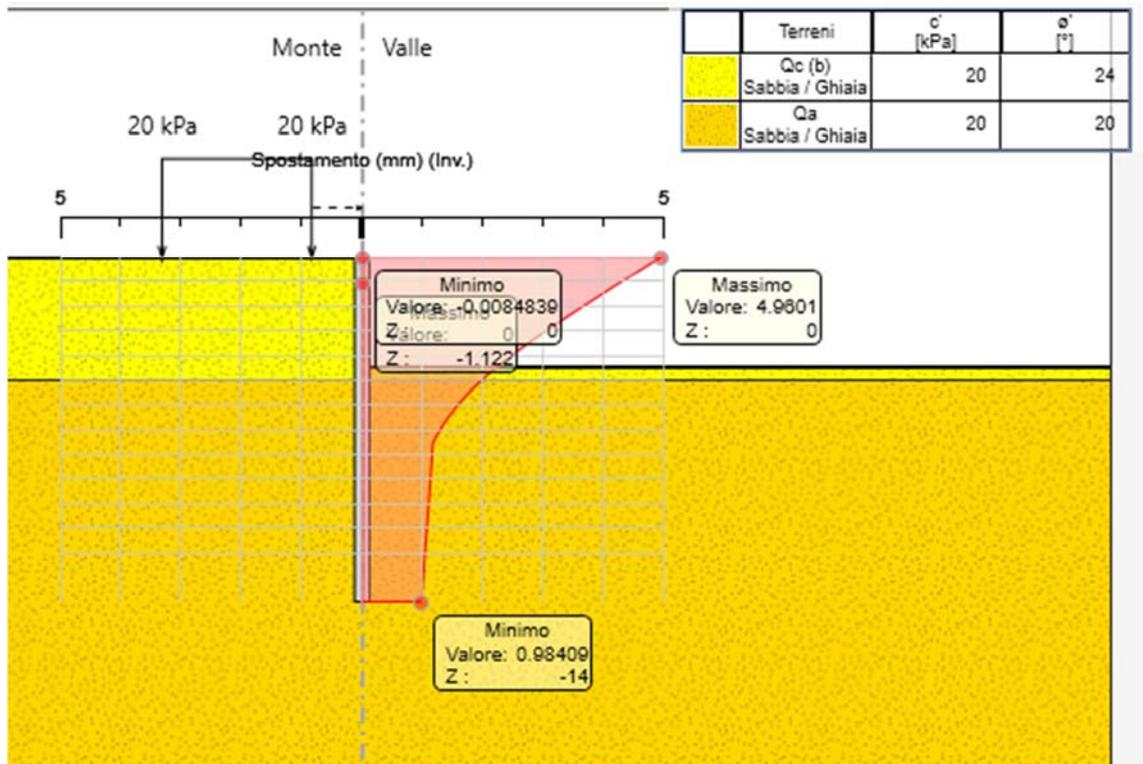


Figura 7-29 Spostamenti Paratia

### 7.8.4 \_\_ Stabilità globale

Come indicato al punto 6.5.3.1.2 del D.M. 2008, le verifiche di stabilità globale sono state condotte per la combinazione A2+M2+R2, in fase statica e fase sismica. Il metodo di calcolo adottato è quello di Bishop. Si riporta la figura del FS minimo ottenuto.

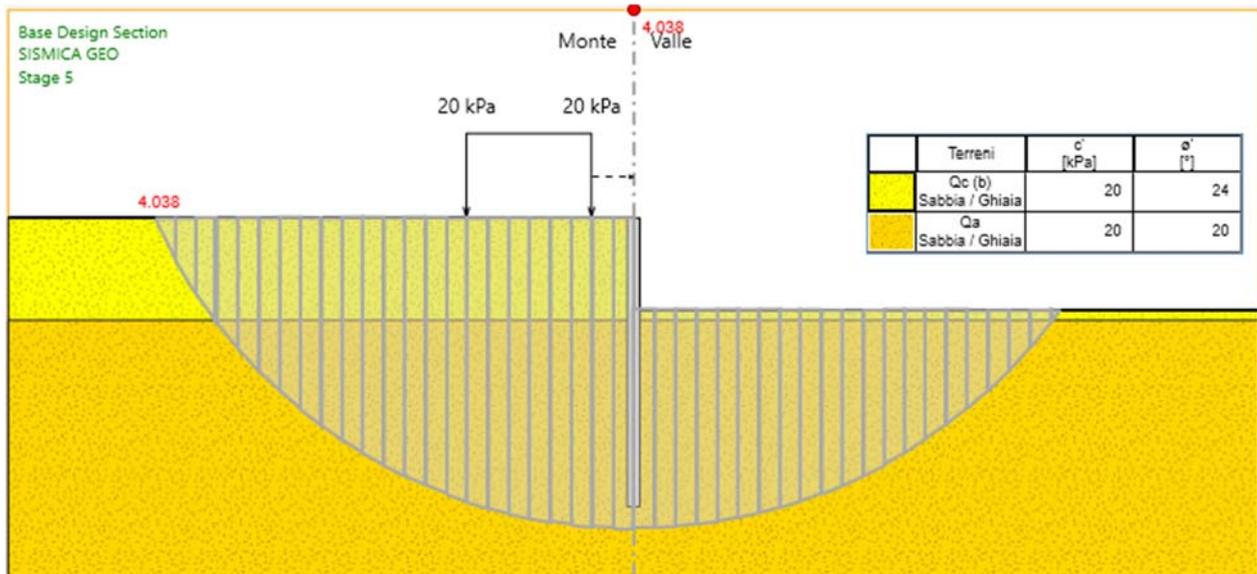


Figura 7-30 Stabilità globale – Fase sismica - Paratia imbocco Nord

## 7.10 VERIFICA TRAVI DI RIPARTIZIONE

Per la verifica delle travi di ripartizione in acciaio (S275), necessarie alla ripartizione dell'azione dei tiranti, costituite da n. 2 travi HEB200 accoppiate, si adotta cautelativamente lo schema strutturale a trave continua appoggiata in corrispondenza delle teste dei tiranti e sottoposta ad un carico uniformemente distribuito pari a  $Nq / i$ , dove  $Nq$  è il tiro agente nel tirante e  $i$  è l'interasse.

In questo modo le azioni flettenti e taglianti sono determinate come segue:

$$M = \frac{Nq}{i} \cdot \frac{i^2}{10} \quad V = \frac{Nq}{i} \cdot \frac{i}{2}$$

La massima sollecitazione di calcolo attesa nei tiranti, in condizioni statiche e sismiche, ricavata con il programma Paratie, è data dalla seconda fila di tiranti della berlinese imbocco nord che, sempre per la combinazione A1+M1+R1, presenta un'azione pari a:

$$N_q = 716 \text{ kN}$$

da cui si ricavano le azioni massime pari a:

$$M_{Ed} = 171.8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 358 \text{ kN}$$

### Verifica a flessione

$$M_{pl,Rd} = 2 \times W_{pl} f_{yk} / \gamma_{M0} = 298 \text{ kNm}$$

in cui

$$W_{pl} = 642.5 \text{ cm}^3$$

$$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Risulta:  $M_{pl,Rd} \geq M_{Ed} \rightarrow$  Verifica soddisfatta.

### Verifica a taglio

$$V_{c,Rd} = 2 \times A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 751 \text{ kN}$$

in cui

$A_v = 25.0 \text{ cm}^2$  calcolata in base alla (4.2.19) della NTC 2008.

$$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Risulta:  $V_{c,Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow$  Verifica soddisfatta.

## 8 GESTIONE DELLE FASI ESECUTIVE DELLA GALLERIA

In questo paragrafo si illustrano le fasi di realizzazione previste per la galleria Francofonte. In particolare, si prevede di scavare la galleria partendo dall'imbocco est (Nord) verso l'imbocco ovest (sud), facendo in modo di garantire sempre almeno una distanza reciproca tra i fonti di scavo delle due canne almeno pari a 5 diametri.

La fasistica può essere riassunta come segue:

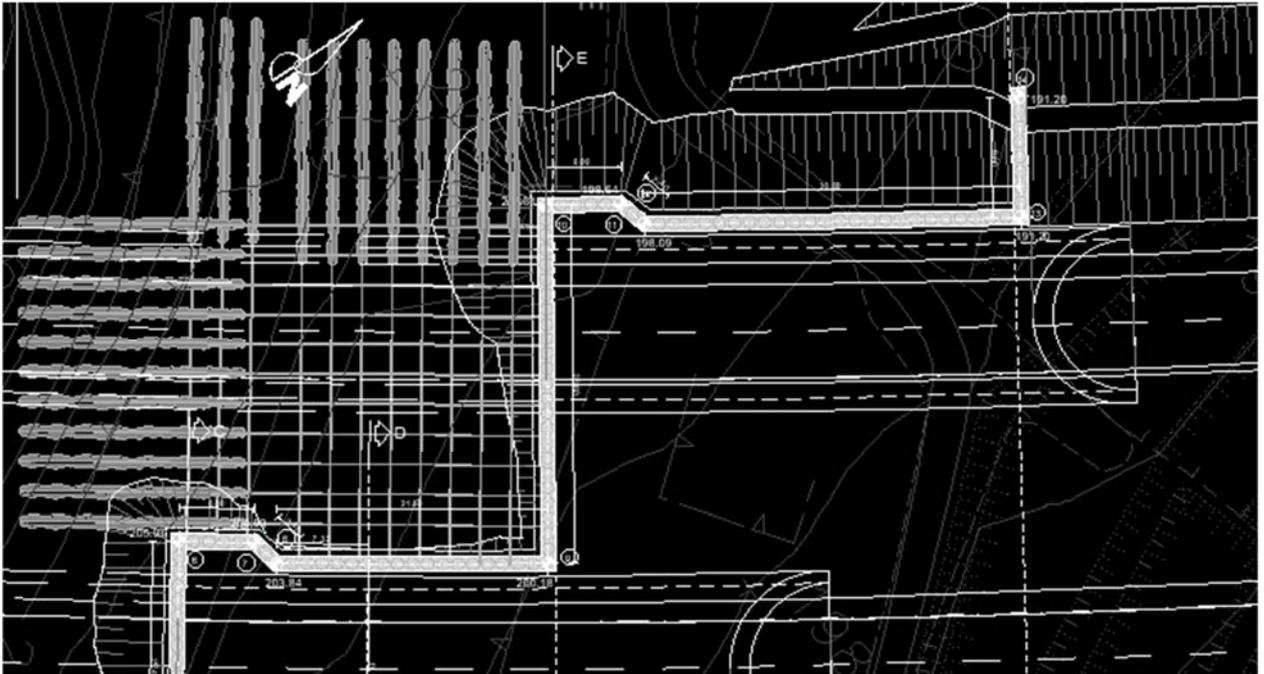
1. realizzazione della paratia d'imbocco Est (sud);
2. realizzazione degli infilaggi, della dima e della GA01 carr. DX;
3. inizio scavo GN01 carr. DX;
4. realizzazione degli infilaggi, della dima Galleria Artificiale GA01 carr. SX;
5. realizzazione muro in terra rinforzata per il ritombamento delle Gallerie Artificiali GA01;
6. ritombamento delle Gallerie Artificiali GA01;
7. inizio scavo GN01 carr. SX;
8. realizzazione paratie di imbocco Ovest (Sud);
9. realizzazione degli infilaggi, della dima e della Gallerie Artificiali GA02 carr. DX e SX;
10. realizzazione muro in terra rinforzata per il ritombamento delle Gallerie Artificiali GA02;
11. ritombamento delle Gallerie Artificiali GA02.

Per le fasi relative allo svincolo Francofonte Ovest si rimanda all'elaborato T04CA01CANPE04.

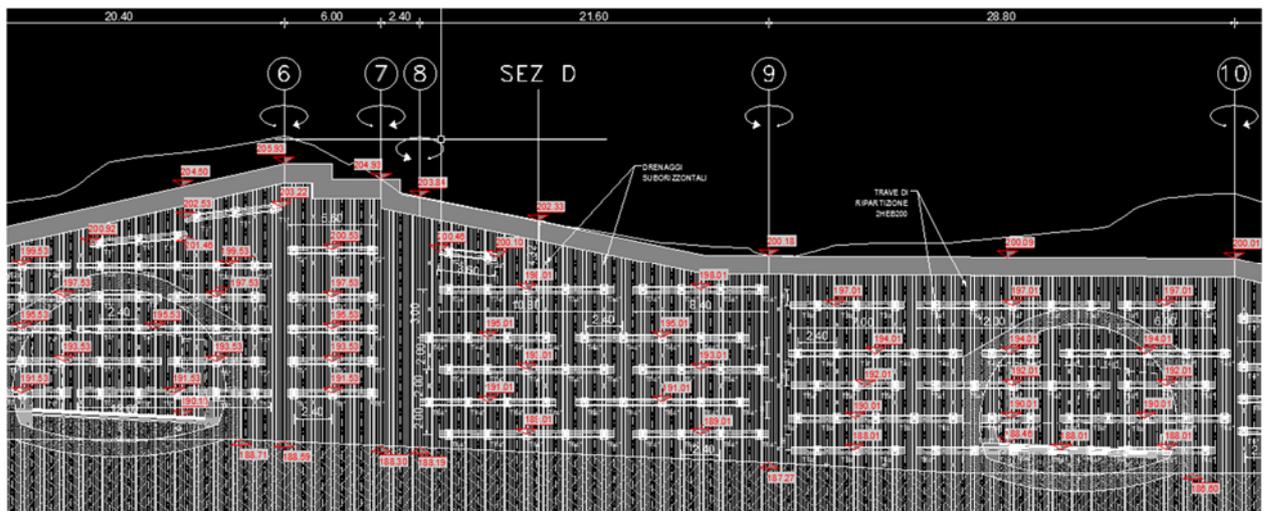
## 9 RISOLUZIONE INTERFERENZE TIRANTI

In questo paragrafo si rende evidenza su come è stata risolta la risoluzione di interferenza tra i tiranti della paratia d'imbocco nord nei tratti 6-9 (porzione longitudinale) e 9-10 (porzione trasversale).

Si riporta di seguito lo stralcio planimetrico.

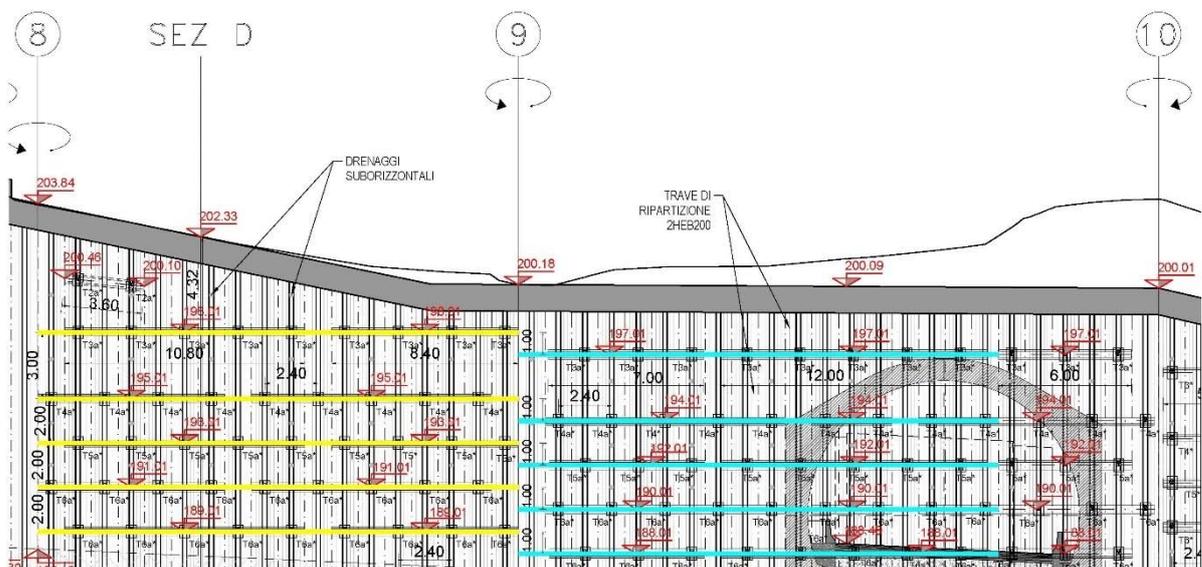


Si riporta di seguito lo stralcio della sviluppata nel tratto di interesse.



I tiranti provvisionali, posizionati sulla porzione 6-9, porzione longitudinale all'asse, presenta ordini di tiranti inclinati tutti a 0° (orizzontali) mentre i tiranti provvisionali, posizionati sulla porzione 9-10, porzione trasversale all'asse, presenta ordini di tiranti inclinati tutti a 0° (orizzontali) e sfalsati altimetricamente (quote assolute sulla sviluppata) di un metro rispetto ai tiranti posizionati sulla porzione di paratia 6-9. Questo permette di risolvere l'interferenza planimetrica che si era creata di sovrapposizione dei tiranti, permettendo la loro esecuzione.

Si riporta di seguito un dettaglio della sviluppata in corrispondenza del punto 9



L'interferenza tra i tiranti 6-9 e lo scavo della galleria naturale carreggiata SX viene risolto con le fasi realizzative riportate e descritte sia nel capitolo precedente sia sulle tavole delle paratie stesse.

In particolare si prevede di scavare la galleria partendo dall'imbocco est (Nord) verso l'imbocco ovest (Sud), facendo in modo di garantire sempre almeno una distanza reciproca tra i fonti di scavo delle due canne almeno pari a 5 diametri.

Si prescrive di iniziare lo scavo della naturale dall'imbocco Nord, carreggiata DX.

L'inizio dello scavo della carreggiata SX può avvenire solo dopo la realizzazione della GA01 DX con relativo tombamento.

## 10 VALORI SOGLIA MONITORAGGIO

Oggetto di questo paragrafo è identificare i valori soglia di allerta e di allarme per ciascuna sezione di calcolo rappresentative della paratia in oggetto.

Di seguito si riporta la tabella dei valori soglia degli spostamenti della paratia

Valori monitoraggio spostamenti paratia			
sez H	Valori di Esercizio	Soglia di <b>Allerta</b>	Soglia di <b>Allarme</b>
m	SLE	120 % SLE	150 % SLE
-	mm	mm	mm
16.5	34	40.8	61.2
14	10	12	18
12	10	12	18
9.5	10	12	18
4.5	10	12	18

Di seguito si riporta la tabella dei valori soglia delle celle di carico dei tiranti della paratia

Valori monitoraggio carico tiranti paratia			
ord T	Valori di Esercizio	Soglia di <b>Allerta</b>	Soglia di <b>Allarme</b>
-	SLE	110 % SLE	80 % Sfilamento di progetto
-	kN	kN	kN
T1*	408.6	449.46	548
T2*/T2a	429.4	472.34	548
T3*/T3a*	490.0	539	548
T4*/T4a*	532.8	586.08	639.2
T5*/T5a*	550.8	605.88	639.2
T6*/T6a*	539.7	593.67	639.2

Per maggiori dettagli vedere l'elaborato specifico sul monitoraggio

## 11 ALLEGATI DI CALCOLO

### 11.1 FRANCOFONTE NORD

#### 11.1.1 H 16.5 m

\* 1: Defining general settings

UNIT m kN

TITLE New Project

DELTA 0.2

option param itemax 40

option control hinges 0 0.0001 0.001

\* 2: Defining wall(s)

WALL LeftWall\_32 0 -30 0 1

\* 3: Defining surfaces for wall(s)

SOIL 0\_L LeftWall\_32 -30 0 1 0

SOIL 0\_R LeftWall\_32 -30 0 2 180

\* 4: Defining soil layers

\*

\* Soil Profile (Qc(b)\_2\_8\_L\_0)

\*

LDATA Qc(b)\_2\_8\_L\_0 0 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 24 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 70000 1.12E+05

ENDL

\*

\* Soil Profile (Qa\_4949\_4950\_L\_0)

\*

LDATA Qa\_4949\_4950\_L\_0 -5 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 20 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 25000 40000

ENDL

\* 5: Defining structural materials

\* Steel material: 110 Name=Fe360 E=206000200 kPa

MATERIAL Fe360\_110 2.06E+08

\* Concrete material: 105 Name=C20/25 E=29962000 kPa

MATERIAL C2025\_105 2.9962E+07

\* Rebar material: 126 Name=acciaio armonico E=200100000 kPa

MATERIAL acciaioarmonico\_126 2.001E+08

\* 6: Defining structural elements

\* 6.1: Beams and combined Wall Elements

BEAM WallElement\_33 LeftWall\_32 -30 0 C2025\_105 0.6 00 00 0

\* 6.2: Supports

WIRE Tieback\_466 LeftWall\_32 -2.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

WIRE Tieback\_New\_847 LeftWall\_32 -5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_1048 LeftWall\_32 -6.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_New\_1249 LeftWall\_32 -8.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325 LeftWall\_32 -11 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_New\_New\_N\_20350 LeftWall\_32 -13.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0

\* 6.3: Strips

STRIP LeftWall\_32 2 15 2 4 0 20 45  
STRIP LeftWall\_32 1 16 6 14 0 90 45  
STRIP LeftWall\_32 1 16 20 60 0 290 45

\* 7: Defining Steps

STEP Stage1\_31  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-FRICT=24 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-FRICT=24 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KA=0.358 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KP=3.251 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KA=0.358 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KP=3.251 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KA=0.424 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KP=2.6 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KA=0.424 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KP=2.6 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ADD WallElement\_33  
ENDSTEP

STEP Stage2\_165  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage3\_266  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T1\_366  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0

---

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

ADD Tieback\_466  
ENDSTEP

STEP Stage5\_467  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -5.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T2\_747  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -5.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ADD Tieback\_New\_847  
ENDSTEP

STEP Stage7\_848  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T3\_948  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -14 -30 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_1048  
ENDSTEP

STEP Stage9\_1049  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T4\_1149  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -10 -30 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_1249  
ENDSTEP

STEP Stage11\_1250  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T5\_1350  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0

---

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD

WATER -25 0 -30 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325  
ENDSTEP

STEP Stage13\_3453  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -14  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP T6\_15526  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -14  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_New\_N\_20350  
ENDSTEP

STEP StageB\_16258  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -16.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -30 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage14\_4455  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -16.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -30 0 -30 0 0  
ENDSTEP

### 11.1.2 H 14 m

UNIT m kN  
TITLE New Project  
DELTA 0.2  
option param itemax 40  
option control hinges 0 0.0001 0.001

\* 2: Defining wall(s)  
WALL LeftWall\_32 0 -26 0 1

\* 3: Defining surfaces for wall(s)  
SOIL 0\_L LeftWall\_32 -26 0 1 0  
SOIL 0\_R LeftWall\_32 -26 0 2 180

\* 4: Defining soil layers  
\*

\* Soil Profile (Qc(b)\_2\_8\_L\_0)  
\*

LDATA Qc(b)\_2\_8\_L\_0 0 LeftWall\_32  
ATREST 0.5 0.5 1  
WEIGHT 18.5 8.5 10  
PERMEABILITY 0.0001  
RESISTANCE 20 24 0 0 0  
KSCALE 0 0  
YOUNG 70000 1.12E+05

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD

ENDL

\*

\* Soil Profile (Qa\_4949\_4950\_L\_0)

\*

LDATA Qa\_4949\_4950\_L\_0 -5 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 20 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 25000 40000

ENDL

\* 5: Defining structural materials

\* Steel material: 110 Name=Fe360 E=206000200 kPa

MATERIAL Fe360\_110 2.06E+08

\* Concrete material: 105 Name=C20/25 E=29962000 kPa

MATERIAL C2025\_105 2.9962E+07

\* Rebar material: 126 Name=acciaio armonico E=200100000 kPa

MATERIAL acciaioarmonico\_126 2.001E+08

\* 6: Defining structural elements

\* 6.1: Beams and combined Wall Elements

BEAM WallElement\_33 LeftWall\_32 -26 0 C2025\_105 0.6 00 00 0

\* 6.2: Supports

WIRE Tieback\_466 LeftWall\_32 -2.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0

WIRE Tieback\_New\_847 LeftWall\_32 -5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0

WIRE Tieback\_New\_New\_1048 LeftWall\_32 -6.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0

WIRE Tieback\_New\_New\_New\_1249 LeftWall\_32 -8.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0

WIRE Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325 LeftWall\_32 -11 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0

WIRE Tieback\_New\_New\_New\_New\_N\_20350 LeftWall\_32 -13.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0

\* 6.3: Strips

STRIP LeftWall\_32 2 14 2 6 0 20 45

STRIP LeftWall\_32 1 15 18.5 61.5 0 80 45

\* 7: Defining Steps

STEP Stage1\_31

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-FRICT=24 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-FRICT=24 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KA=0.374 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KP=3.051 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KA=0.374 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KP=3.051 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-FRICT=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-FRICT=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KA=0.44 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KP=2.477 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KA=0.44 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KP=2.477 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32

---

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ADD WallElement\_33  
ENDSTEP

STEP Stage2\_165  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage3\_266  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T1\_366  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ADD Tieback\_466  
ENDSTEP

STEP Stage5\_467  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -5.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T2\_747  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -5.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ADD Tieback\_New\_847  
ENDSTEP

STEP Stage7\_848  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T3\_948  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -14 -26 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_1048  
ENDSTEP

---

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**

STEP Stage9\_1049  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T4\_1149  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -10 -26 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_1249  
ENDSTEP

STEP Stage11\_1250  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T5\_1350  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325  
ENDSTEP

STEP Stage13\_3453  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -14  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ENDSTEP

STEP T6\_15526  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -14  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_New\_N\_20350  
ENDSTEP

STEP Stage14\_4455  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -14  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -26 0 0  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KAED=0.47018 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KAEW=0.59324 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KPED=2.9725 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KPEW=2.6117 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KAED=0.4333 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KAEW=0.56225 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KPED=2.6529 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KPEW=2.2784 LeftWall\_32

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

```
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAED=0.54907 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAEW=0.69317 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPED=2.394 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPEW=2.0574 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAED=0.50536 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAEW=0.65991 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPED=2.1343 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPEW=1.7797 LeftWall_32
EQK USER 0.1037 0.05185 -0.05185 0 0.5 0 0.5 0 0
* Defining seismic surcharge pressures on wall LeftWall_32
*   min elevation = -14
*   max elevation = 0
*   average gamma = 18.5
*   kh = 0.1129
*   deltaQ = 153.515775
DLOAD step LeftWall_32 -14 10.965 0 10.965
* Include pressure contribution from wall: LeftWall_32
* Include wall contribution
DLOAD step LeftWall_32 -14 1.6935 0 1.6935
ENDSTEP
```

### 11.1.4 H 12 m

UNIT m kN  
TITLE New Project  
DELTA 0.2  
option param itemax 40  
option control hinges 0 0.0001 0.001

\* 2: Defining wall(s)  
WALL LeftWall\_32 0 -22 0 1

\* 3: Defining surfaces for wall(s)  
SOIL 0\_L LeftWall\_32 -22 0 1 0  
SOIL 0\_R LeftWall\_32 -22 0 2 180

\* 4: Defining soil layers  
\*  
\* Soil Profile (Qc(b)\_2\_8\_L\_0)  
\*  
LDATA Qc(b)\_2\_8\_L\_0 0 LeftWall\_32  
ATREST 0.5 0.5 1  
WEIGHT 18.5 8.5 10  
PERMEABILITY 0.0001  
RESISTANCE 20 24 0 0 0  
KSCALE 0 0  
YOUNG 70000 1.12E+05  
ENDL  
\*  
\* Soil Profile (Qa\_4949\_4950\_L\_0)  
\*  
LDATA Qa\_4949\_4950\_L\_0 -5 LeftWall\_32  
ATREST 0.5 0.5 1  
WEIGHT 18.5 8.5 10  
PERMEABILITY 0.0001  
RESISTANCE 20 20 0 0 0  
KSCALE 0 0  
YOUNG 25000 40000  
ENDL

\* 5: Defining structural materials  
\* Steel material: 110 Name=Fe360 E=206000200 kPa  
MATERIAL Fe360\_110 2.06E+08  
\* Concrete material: 105 Name=C20/25 E=29962000 kPa  
MATERIAL C2025\_105 2.9962E+07  
\* Rebar material: 126 Name=acciaio armonico E=200100000 kPa  
MATERIAL acciaioarmonico\_126 2.001E+08

\* 6: Defining structural elements  
\* 6.1: Beams and combined Wall Elements  
BEAM WallElement\_33 LeftWall\_32 -22 0 C2025\_105 0.6 00 00 0

\* 6.2: Supports  
WIRE Tieback\_466 LeftWall\_32 -2.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0  
WIRE Tieback\_New\_847 LeftWall\_32 -5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 166.67 0 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_1048 LeftWall\_32 -6.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_New\_1249 LeftWall\_32 -8.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0  
WIRE Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325 LeftWall\_32 -11 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 0 0 0

\* 6.3: Strips

STRIP LeftWall\_32 2 13 2 6 0 20 45

STRIP LeftWall\_32 1 14 18.5 61.5 0 80 45

\* 7: Defining Steps

STEP Stage1\_31

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-FRICT=24 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-FRICT=24 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KA=0.374 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KP=3.051 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KA=0.374 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KP=3.051 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-FRICT=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-FRICT=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KA=0.44 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KP=2.477 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KA=0.44 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KP=2.477 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32

CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32

SETWALL LeftWall\_32

GEOM 0 0

SURCHARGE 0 0 0 0

WATER -25 0 -22 0 0

ADD WallElement\_33

ENDSTEP

STEP Stage2\_165

SETWALL LeftWall\_32

GEOM 0 0

SURCHARGE 0 0 0 0

WATER -25 0 -22 0 0

ENDSTEP

STEP Stage3\_266

SETWALL LeftWall\_32

GEOM 0 -3

SURCHARGE 0 0 0 0

WATER -25 0 -22 0 0

ENDSTEP

STEP T1\_366

SETWALL LeftWall\_32

GEOM 0 -3

SURCHARGE 0 0 0 0

WATER -25 0 -22 0 0

ADD Tieback\_466

ENDSTEP

STEP Stage5\_467

SETWALL LeftWall\_32

GEOM 0 -5.5

---

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ENDSTEP

STEP T2\_747  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -5.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ADD Tieback\_New\_847  
ENDSTEP

STEP Stage7\_848  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ENDSTEP

STEP T3\_948  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -7  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -14 -22 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_1048  
ENDSTEP

STEP Stage9\_1049  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ENDSTEP

STEP T4\_1149  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 -10 -22 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_1249  
ENDSTEP

STEP Stage11\_1250  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ENDSTEP

STEP T5\_1350  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -11.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -22 0 0  
ADD Tieback\_New\_New\_New\_New\_14325  
ENDSTEP

STEP Stage13\_3453  
SETWALL LeftWall\_32

---

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD**

```
GEOM 0 -12
SURCHARGE 0 0 0 0
WATER -25 0 -22 0 0
ENDSTEP

STEP Stage14_4455
SETWALL LeftWall_32
GEOM 0 -12
SURCHARGE 0 0 0 0
WATER -25 0 -22 0 0
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KAED=0.4741 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KAEW=0.60263 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KPED=2.9689 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KPEW=2.5928 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KAED=0.43537 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KAEW=0.57166 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KPED=2.6387 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KPEW=2.2469 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAED=0.55311 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAEW=0.70482 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPED=2.3905 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPEW=2.0376 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAED=0.5073 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAEW=0.67198 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPED=2.121 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPEW=1.749 LeftWall_32
EQK USER 0.1071 0.05355 -0.05355 0 0.5 0 0.5 0 0
* Defining seismic surcharge pressures on wall LeftWall_32
*   min elevation = -12
*   max elevation = 0
*   average gamma = 18.5
*   kh = 0.1201
*   deltaQ = 119.9799
DLOAD step LeftWall_32 -12 9.9983 0 9.9983
* Include pressure contribution from wall: LeftWall_32
* Include wall contribution
DLOAD step LeftWall_32 -12 1.8015 0 1.8015
ENDSTEP
```

### 11.1.6 H 9.5 m

\* 1: Defining general settings

UNIT m kN

TITLE New Project

DELTA 0.2

option param itemax 40

option control hinges 0 0.0001 0.001

\* 2: Defining wall(s)

WALL LeftWall\_32 0 -18 0 1

\* 3: Defining surfaces for wall(s)

SOIL 0\_L LeftWall\_32 -18 0 1 0

SOIL 0\_R LeftWall\_32 -18 0 2 180

\* 4: Defining soil layers

\*

\* Soil Profile (Qc(b)\_2\_8\_L\_0)

\*

LDATA Qc(b)\_2\_8\_L\_0 0 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 24 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 70000 1.12E+05

ENDL

\*

\* Soil Profile (Qa\_4949\_4950\_L\_0)

\*

LDATA Qa\_4949\_4950\_L\_0 -5 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 20 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 25000 40000

ENDL

\* 5: Defining structural materials

\* Steel material: 110 Name=Fe360 E=206000200 kPa

MATERIAL Fe360\_110 2.06E+08

\* Concrete material: 105 Name=C20/25 E=29962000 kPa

MATERIAL C2025\_105 2.9962E+07

\* Rebar material: 126 Name=acciaio armonico E=200100000 kPa

MATERIAL acciaioarmonico\_126 2.001E+08

\* 6: Defining structural elements

\* 6.1: Beams and combined Wall Elements

BEAM WallElement\_33 LeftWall\_32 -18 0 C2025\_105 0.6 00 00 0

\* 6.2: Supports

WIRE Tieback\_466 LeftWall\_32 -2.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0

WIRE Tieback\_New\_847 LeftWall\_32 -5.5 acciaioarmonico\_126 1.5444E-05 187.5 15 0 0

\* 6.3: Strips

STRIP LeftWall\_32 2 7 2 6 0 20 45

\* 7: Defining Steps

STEP Stage1\_31

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-FRICT=24 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-FRICT=24 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KA=0.374 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KP=3.051 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KA=0.374 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KP=3.051 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KA=0.44 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KP=2.477 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KA=0.44 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KP=2.477 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ADD WallElement\_33  
ENDSTEP

STEP Stage2\_165

SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage3\_266

SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ENDSTEP

STEP T1\_366

SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ADD Tieback\_466  
ENDSTEP

STEP Stage5\_467

SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -6  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ENDSTEP

STEP T2\_747  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -6  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ADD Tieback\_New\_847  
ENDSTEP

STEP Stage7\_848  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage14\_4455  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -9.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -18 0 0  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KAED=0.47127 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KAEW=0.5933 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KPED=2.9728 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KPEW=2.6109 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KAED=0.43326 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KAEW=0.56314 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KPED=2.6517 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KPEW=2.2763 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KAED=0.54912 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KAEW=0.69429 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KPED=2.3942 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KPEW=2.0566 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KAED=0.50531 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KAEW=0.66079 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KPED=2.1331 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KPEW=1.7785 LeftWall\_32  
EQK USER 0.1039 0.05195 -0.05195 0 0.5 0 0.5 0 0  
\* Defining seismic surcharge pressures on wall LeftWall\_32  
\* min elevation = -9.5  
\* max elevation = 0  
\* average gamma = 18.5  
\* kh = 0.1288  
\* deltaQ = 80.6428875  
DLOAD step LeftWall\_32 -9.5 8.4887 0 8.4887  
\* Include pressure contribution from wall: LeftWall\_32  
\* Include wall contribution  
DLOAD step LeftWall\_32 -9.5 1.932 0 1.932  
ENDSTEP

### 11.1.8 H 4.5 m

\* 1: Defining general settings

UNIT m kN

TITLE New Project

DELTA 0.2

option param itemax 40

option control hinges 0 0.0001 0.001

\* 2: Defining wall(s)

WALL LeftWall\_32 0 -14 0 1

\* 3: Defining surfaces for wall(s)

SOIL 0\_L LeftWall\_32 -14 0 1 0

SOIL 0\_R LeftWall\_32 -14 0 2 180

\* 4: Defining soil layers

\*

\* Soil Profile (Qc(b)\_2\_8\_L\_0)

\*

LDATA Qc(b)\_2\_8\_L\_0 0 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 24 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 70000 1.12E+05

ENDL

\*

\* Soil Profile (Qa\_4949\_4950\_L\_0)

\*

LDATA Qa\_4949\_4950\_L\_0 -5 LeftWall\_32

ATREST 0.5 0.5 1

WEIGHT 18.5 8.5 10

PERMEABILITY 0.0001

RESISTANCE 20 20 0 0 0

KSCALE 0 0

YOUNG 25000 40000

ENDL

\* 5: Defining structural materials

\* Steel material: 110 Name=Fe360 E=206000200 kPa

MATERIAL Fe360\_110 2.06E+08

\* Concrete material: 105 Name=C20/25 E=29962000 kPa

MATERIAL C2025\_105 2.9962E+07

\* 6: Defining structural elements

\* 6.1: Beams and combined Wall Elements

BEAM WallElement\_33 LeftWall\_32 -14 0 C2025\_105 0.6 00 00 0

\* 6.2: Supports

\* 6.3: Strips

STRIP LeftWall\_32 2 5 2 6 0 20 45

\* 7: Defining Steps

STEP Stage1\_31

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-FRICT=24 LeftWall\_32

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD

CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-FRICT=24 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KA=0.374 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-KP=3.051 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KA=0.374 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-KP=3.051 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-FRICT=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KA=0.44 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-KP=2.477 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KA=0.44 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-KP=2.477 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qc(b)\_2\_8\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 U-ADHES=0 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-COHE=20 LeftWall\_32  
CHANGE Qa\_4949\_4950\_L\_0 D-ADHES=0 LeftWall\_32  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0  
ADD WallElement\_33  
ENDSTEP

STEP Stage2\_165  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 0  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage3\_266  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -3  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0  
ENDSTEP

STEP T1\_366  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -4.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage5\_467  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -4.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0  
ENDSTEP

STEP Stage14\_4455  
SETWALL LeftWall\_32  
GEOM 0 -4.5  
SURCHARGE 0 0 0 0  
WATER -25 0 -14 0 0

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE IMBOCCO NORD

```
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KAED=0.47127 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KAEW=0.5933 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KPED=2.9728 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 U-KPEW=2.6109 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KAED=0.43326 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KAEW=0.56314 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KPED=2.6517 LeftWall_32
CHANGE Qc(b)_2_8_L_0 D-KPEW=2.2763 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAED=0.54912 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KAEW=0.69429 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPED=2.3942 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 U-KPEW=2.0566 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAED=0.50531 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KAEW=0.66079 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPED=2.1331 LeftWall_32
CHANGE Qa_4949_4950_L_0 D-KPEW=1.7785 LeftWall_32
EQK USER 0.1039 0.05195 -0.05195 0 0.5 0 0.5 0 0
* Defining seismic surcharge pressures on wall LeftWall_32
*   min elevation = -4.5
*   max elevation = 0
*   average gamma = 18.5
*   kh = 0.1396
*   deltaQ = 19.61161875
DLOAD step LeftWall_32 -4.5 4.3581 0 4.3581
* Include pressure contribution from wall: LeftWall_32
* Include wall contribution
DLOAD step LeftWall_32 -4.5 2.094 0 2.094
ENDSTEP
```