

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

**OPERE D'ARTE MAGGIORI**

VI-03 PONTE SUL FIUME ASA  
RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 09 CL VI0302 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A.Polastrì	Sett.2020	F.Rotunno	Sett.2020	M.D'Amico	Sett.2020	A.Vitozzi Sett.2020

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vitozzi  
Provine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° 42.078

File: NN1X00D09CLVI0302001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

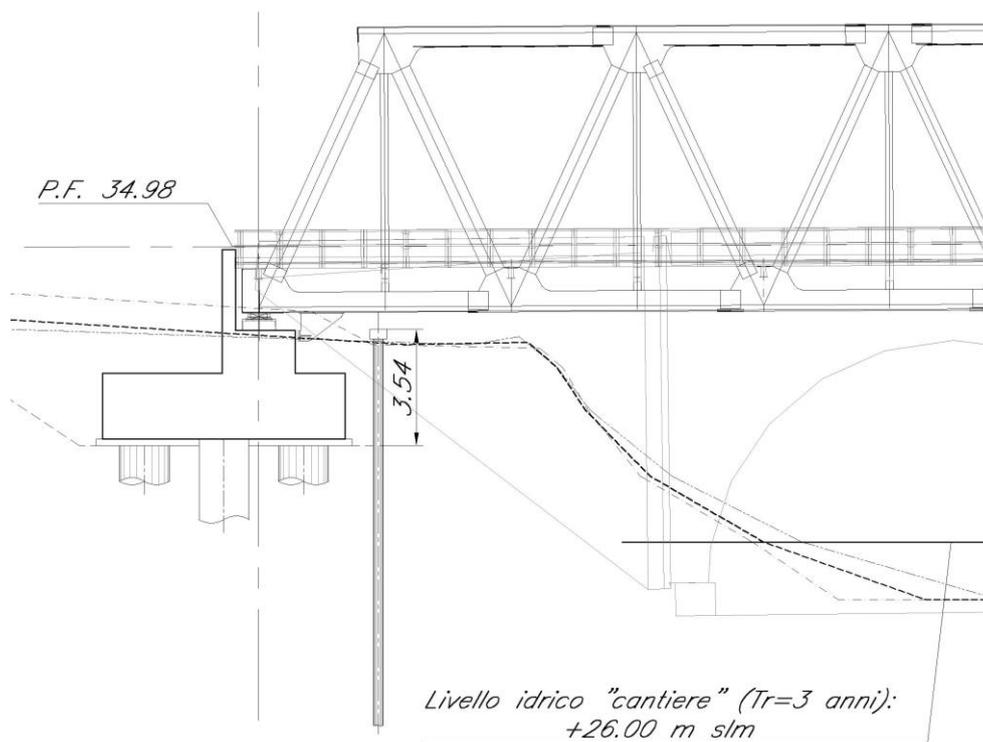
1	GENERALITÀ .....	3
1.1	PREMESSA .....	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
1.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
2	MATERIALI .....	7
2.1	CALCESTRUZZO PER MICROPALI .....	7
2.2	ACCIAIO B450C .....	7
2.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA .....	7
3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	9
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	10
5	CRITERI DI PROGETTAZIONE IN ACCORDO ALLE NTC2018 .....	12
6	METODI DI CALCOLO E MODELLI .....	15
6.1	SEZIONI DI CALCOLO .....	15
6.2	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO .....	15
6.3	CARICHI .....	18
6.4	FASI DI CALCOLO .....	18
6.5	CARATTERISTICHE DEI TERRENI E DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....	18
7	RISULTATI DELLE ANALISI .....	21
7.1	SEZIONE A .....	21
7.2	SEZIONE B .....	24
8	VERIFICHE SLU .....	28
8.1	VERIFICA EQU .....	28
8.2	VERIFICA STR .....	28
8.3	VERIFICA GEO .....	31
9	VERIFICHE SLE .....	34
9.1	VERIFICA DEFORMAZIONI .....	34

## 1 GENERALITÀ

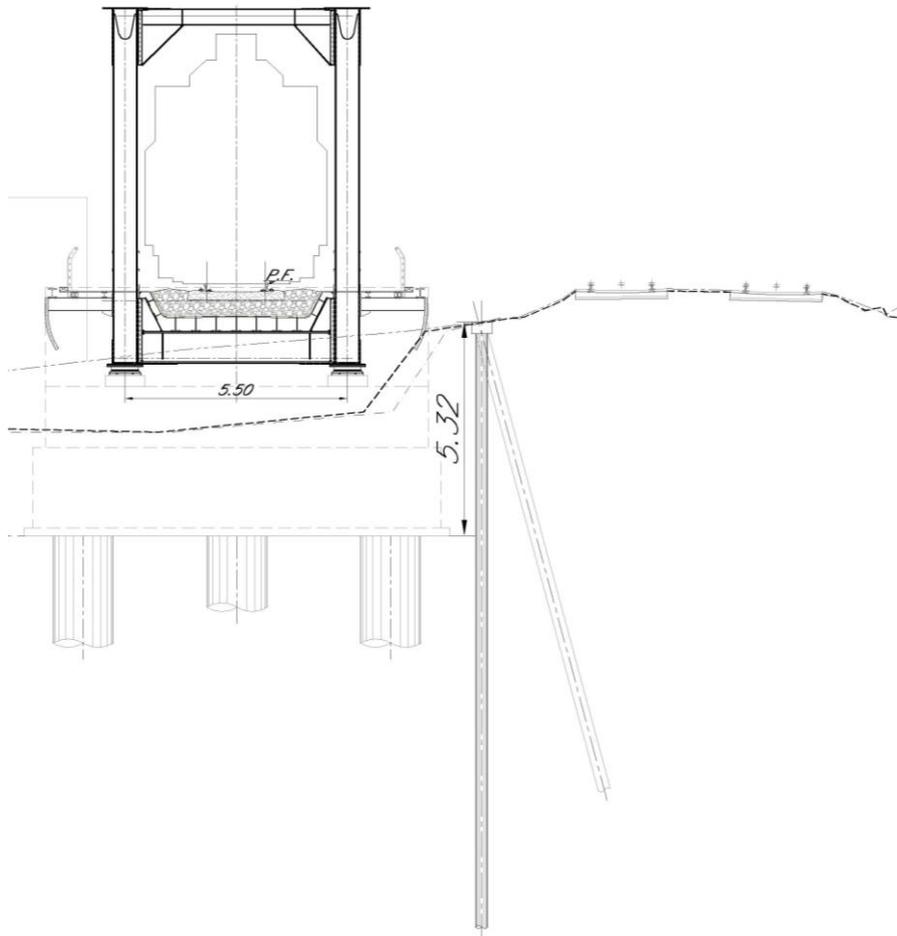
### 1.1 Premessa

La presente relazione riporta le verifiche geotecniche delle opere di sostegno provvisorie funzionali alla realizzazioni delle fondazioni profonde delle spalle del viadotto VI 03.

Le sezioni più significative ai fini della definizione delle altezze di scavo sono riportate di seguito.



**Figura 1. Spalla A – paratia di micropali trasversale per realizzazione spalla A**



**Figura 2. Spalla B – paratia di micropali longitudinale per realizzazione spalla B**

Entrambe le opere di sostegno dello scavo delle due spalle sono costituite da:

- paratia longitudinale composta da micropali disposti a interasse 0.4 m con un micropalo inclinato ogni 1.6 m. I micropali verticali saranno lunghi 15.0 m mentre quello inclinato sarà realizzato di lunghezza 12.0 m. Le paratie trasversali saranno invece costituite da micropali verticali di lunghezza 12.0 m. Le paratie saranno contrastate da un livello di puntoni diagonali disposti in testa alla paratia trasversale e a -2 m dalla testa della paratia longitudinale.

Tutte le paratie saranno costituite da micropali con diametro di perforazione

D = 300 mm

armate con tubolari metallici

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO					
	COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO					
RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 XCL	DOCUMENTO VI 03 02 001	REV. A	FOGLIO 5 di 34

F219.1/12

Il sistema di contrasto sarà realizzato tramite puntoni tubolari di diametro 219.1 mm e spessore 10.0 mm, le lunghezze dei puntoni saranno 4.3 m per la spalla A e 7.0 m per la spalla B

Nel seguito si riporteranno le verifiche eseguite per n.2 sezioni considerate le più gravose::

- Sezione A - Spalla A: paratia trasversale senza cavalletto di lunghezza 12.0 m con puntone in testa. Altezza di scavo = 3.54 m
- Sezione B – Spalla B: paratia longitudinale con cavalletto, lunghezza micropalo verticale 15.0 m, lunghezza micropalo inclinato 12.0 m, puntone a quota -2.0 m dalla testa della paratia. Altezza di scavo = 5.32 m

## 1.2 Normativa di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative.

- [N1] Legge 5/11/1971, n.1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.
- [N2] D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [N3] CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [N4] RFI DTC SICS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N5] RFI DTC SICS SP IFS 001 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [N6] Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [N7] Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [N8] Regolamento (UE) N° 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	6 di 34

### 1.3 Documenti di riferimento

I documenti che verranno richiamati nel seguito sono:

- Rif. [1] Relazione geotecnica generale
- Rif. [2] Impalcato – Relazione di calcolo – NN1X00D09CLVI0309001A
- Rif. [3] relazione di calcolo spalla A - NN1X00D09CLVI0304001A
- Rif. [4] relazione di calcolo spalla B - NN1X00D09CLVI0304002A

## 2 MATERIALI

### 2.1 Calcestruzzo per micropali

Per le strutture in fondazione si adotta un calcestruzzo con le seguenti caratteristiche riportate in :

- calcestruzzo classe C28/35

### 2.2 Acciaio B450C

Si adotta acciaio tipo B450C come previsto al punto 11.3.2.1 delle NTC18 ([N2]), per il quale si possono assumere le seguenti caratteristiche:

ACCIAIO per ARMATURA	<b>B450C</b>
Peso per unità di volume	
$\gamma$	78.5 kN/m <sup>3</sup>
Resistenza a trazione	
$f_{yk} =$	450.00 MPa
$f_{yd} =$	391.30 MPa
$f_{tk} =$	540.00 MPa
Modulo elastico e coefficiente di Poisson	
$E_{sm} =$	210000 MPa
$\nu =$	0.30
Grandezze deformative	
$\epsilon_{yd} =$	0.19%
$\epsilon_{sud} =$	6.75% def. rottura di calcolo

**Tabella 1. Caratteristiche acciaio per armatura**

### 2.3 Acciaio per carpenteria metallica



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	8 di 34

### Acciaio per profilati e tubi del tipo S235

Tensione caratteristica a snervamento dell'acciaio  $f_{yka} = 235 \text{ MPa}$

coefficiente di sicurezza  $\gamma_M = 1,05$

resistenza di calcolo dell'acciaio  $= f_{yka}/\gamma_M = f_{yda} = 223 \text{ MPa}$

modulo elastico dell'acciaio  $E = 2,06 \text{ E}^{+08} \text{ kPa}$





LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	10 di 34

#### 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Come anticipato in premessa le paratie in esame sono costituite da micropali con diametro di perforazione

$D = 300 \text{ mm}$

armate con tubolari metallici

F219/12

Sia per la spalla A che per la spalla B lo scavo sarà sostenuto da una paratia longitudinale e da due trasversali; relativamente alla paratia longitudinale i micropali saranno disposti ad interasse 0.4 m e sarà realizzato un micropalo inclinato di  $15^\circ$  ogni 1.6 m. I micropali verticali saranno lunghi 15.0 m mentre il micropalo inclinato sarà realizzato di 12.0 m.

Le paratie trasversali saranno invece interamente composte da micropali verticali di lunghezza 12.0 m.

In testa ai micropali trasversali, corrispondente a quota -2.0 m dalla paratia longitudinale, saranno disposti dei puntoni diagonali.

Nel seguito si riportano le verifiche eseguite in corrispondenza di n.2 sezioni ritenute più gravose in particolare:

- Sezione A - Spalla A: paratia trasversale senza cavalletto di lunghezza 12.0 m con puntone in testa. Altezza di scavo = 3.54 m
- Sezione B – Spalla B: paratia longitudinale con cavalletto, lunghezza micropalo verticale 15.0 m, lunghezza micropalo inclinato 12.0 m, puntone a quota -2.0 m dalla testa della paratia. Altezza di scavo = 5.32 m

Le caratteristiche delle opere sono riassunte nelle seguenti tabelle

**Tabella 2. Caratteristiche geometriche opere di sostegno Sezione A**

Nome opera	-	Viadotto VI 03 –Sezione A
	-	
Altezza totale dello scavo	[m]	3.54
Lunghezza Micropali	[m]	12.0
Diametro Perforazione	[mm]	300
Interasse	[m]	0.4
Tubolari di armatura	[-]	F219.1/12
Diametro tubolare puntone	[mm]	152.4
Spessore tubolare puntone	[mm]	14.2
Profondità tubolare da testa paratia	[m]	0.2

**Tabella 3. Caratteristiche geometriche opere di sostegno Sezione B**

Nome opera	-	Viadotto VI 03 –Sezione B
	-	
Altezza totale dello scavo	[m]	5.32 m
Lunghezza Micropali	[m]	15.0
Diametro Perforazione	[mm]	300
Interasse	[m]	0.4 (interasse di calcolo 0.53)
Tubolari di armatura	[-]	F219.1/12
Interasse micropali a cavalletto	[m]	1.6
Diametro Perforazione micropali a cavalletto	[mm]	300
Lunghezza micropali a cavalletto	[m]	12.0
Tubolari di armatura micropali a cavalletto	[-]	F219.1/12
Diametro tubolare puntone	[mm]	152.4
Spessore tubolare puntone	[mm]	14.2
Profondità tubolare da testa paratia	[m]	2.0



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	12 di 34

## 5 CRITERI DI PROGETTAZIONE IN ACCORDO ALLE NTC2018

Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi, accertando che la condizione [6.2.1] delle NTC18:

$$Ed \leq Rd$$

sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

### SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

### SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2

(A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Le verifiche nei riguardi degli stati limite idraulici (UPL e HYD) devono essere eseguite come descritto nel § 6.2.4.2.

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 e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Bisogna però ricordare che al paragrafo 6.2.4.1.3 la norma chiarisce che le analisi finalizzate al dimensionamento strutturale nelle quali si consideri l'interazione terreno-struttura si eseguono con i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando l'effetto delle azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1.

Questo equivale a dire che le analisi riguardanti gli SLU di tipo strutturale devono svolgersi unicamente con la combinazione 1, mentre la combinazione 2 deve utilizzarsi solo per le analisi di collasso.

**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	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

**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	$\gamma_r$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Fermo restando quanto specificato nel § 6.5.3.1.1 per il calcolo delle spinte, per valori dell'angolo d'attrito tra terreno e parete  $\delta > \varphi'/2$ , ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

## VERIFICHE DI ESERCIZIO (SLE)

In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali. In presenza di manufatti particolarmente sensibili agli spostamenti dell'opera di sostegno, deve essere sviluppata una specifica analisi dell'interazione tra opere e terreno, tenendo conto della sequenza delle fasi costruttive.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	14 di 34

## VERIFICHE HYD

Citando la normativa “Le opere geotecniche devono essere verificate nei confronti dei possibili stati limite di sollevamento o di sifonamento. A tal fine, nella valutazione delle pressioni interstiziali e delle quote piezometriche caratteristiche, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle condizioni stratigrafiche.

Per le verifiche a sifonamento in condizioni di flusso prevalentemente verticale la verifica si esegue controllando che il gradiente idraulico i risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso”.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	15 di 34

## 6 METODI DI CALCOLO E MODELLI

### 6.1 Sezioni di calcolo

Al fine di identificare l'involuppo delle sollecitazioni che possono agire sulle opere di sostegno in esame sono state identificate due sezioni di calcolo così definite:

**SEZIONE A – Spalla A**: paratia longitudinale puntonata in testa

$$H \text{ scavo} = 3.54 + 0.5 = 4.04 \text{ m}$$

**SEZIONE 2 – Spalla B** – paratia trasversale con micropali inclinati puntonata a quota -2.0 m

$$H \text{ scavo} = 5.32 + 0.33 = 5.65 \text{ m}$$

Con riferimento alle quote di scavo si sottolinea che la quota di fondo scavo di progetto è stata determinata in ossequio a quanto previsto dalle normative vigenti al punto 6.5.2.2, ovvero :” *Nel caso in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell’opera, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:*

- 10% dell’altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10 % della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0,5 m”

### 6.2 Descrizione del codice di calcolo

Le analisi finalizzate al dimensionamento delle paratie sono state condotte con il programma di calcolo “Paratie” Versione 2018 della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

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

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

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	16 di 34

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

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto; consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni, e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

Il metodo sopra esposto è sicuramente valido per il calcolo delle sollecitazioni all'interno della struttura; tarando opportunamente i moduli mediante modellazioni più complete (es. FEM 2D) consente anche una ragionevole stima degli spostamenti orizzontali della parete di sostegno [Becci & Nova, 1987; Dhouib, 1995].

Il metodo di calcolo richiede la definizione di parametri, valutati in funzione delle caratteristiche geotecniche e fisiche dei terreni, delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera. In particolare la pressione  $\sigma'_h$  che lo scheletro solido del terreno esercita su una struttura di sostegno dipende dagli spostamenti che essa subisce per effetto di  $\sigma'_h$  stessa ovvero dipende dall'interazione fra la struttura ed il terreno a tergo dell'opera. Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso valle, la  $\sigma'_h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot (K_a)^{0.5} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva;

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

$c'$  = coesione efficace.

In condizioni statiche,  $K_a$  è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido  $\varphi'$ , dell'angolo di attrito fra struttura e terreno  $\delta$  (nelle analisi  $\delta < \varphi'$ ), dell'inclinazione  $\alpha$  del paramento di monte della struttura di sostegno (nelle analisi  $\alpha = 0^\circ$ ) e dell'inclinazione  $\beta$  del terrapieno a tergo dell'opera (nelle analisi  $\beta = 0^\circ$ ). Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di  $K_a$ , di seguito, si farà riferimento a quella di [Coulomb, 1773].

Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso monte, la  $\sigma'_h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'_h = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot (K_p)^{0.5} \quad \text{pressione passiva}$$

dove:

$K_p$  = coefficiente di spinta attiva;

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

$c'$  = coesione efficace.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	17 di 34

Analogamente al coefficiente di spinta attiva, in condizioni statiche si può porre  $K_p = K_p(\varphi', \delta)$ . Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di  $K_p$ , di seguito, si farà riferimento a quella di [Caquot-Kerisel, 1948] con  $\delta' \leq \varphi' / 2$ .

Pertanto, nel caso di strutture di sostegno flessibili, eventualmente contrastate da elementi strutturali attivi o passivi messi in opera in fasi successive, sul paramento di monte agirà la pressione attiva e su quello di valle la pressione passiva.

Nel caso di strutture molto rigide, incapaci di subire spostamenti sufficienti a mobilitare la pressione attiva o quella passiva, la pressione  $\sigma'_h$  esercitata dallo scheletro solido sull'opera di sostegno sarà prossima alla pressione geostatica iniziale:

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

dove:

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo;

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace.

Per strutture di sostegno alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua assumendo schemi di filtrazione idonei in funzione delle condizioni stratigrafiche ed al contorno.

La rigidezza delle molle schematizzanti il terreno sono proporzionali al modulo elastico del terreno la cui variazione con la profondità può essere descritto mediante la seguente espressione generale:

$$E_{vc} = R \cdot (p' / p_a)^n \quad \text{modulo in compressione vergine (primo carico);}$$

dove:

$p_a = 100 \text{ kPa}$  pressione di riferimento (pressione atmosferica);

$p' = (\sigma'_v + \sigma'_h) / 2$  pressione media alla generica profondità;

$R$  modulo elastico corrispondente a  $p' = 100 \text{ kPa}$ ;

$n$  coefficiente di forma della legge compreso tra 0 e 1 ( $n = 0$ , legge costante con la profondità,  $n = 1$  legge variabile linearmente).

Il modulo di scarico-ricarico ( $E_{ur}$ ) può essere 1.5÷3 volte quello di primo carico.



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	18 di 34

### 6.3 Carichi

Nel considerare i carichi indotti dal passaggio dei convogli ferroviari si è considerato un carico pari a  $q = 50 \text{ kPa}$  distribuito per l'intera larghezza della sede ferroviaria in rilevato.

Per quanto riguarda il carico trasmesso dal rilevato ferroviario stesso, questo è stato calcolato considerando un peso per unità di volume del materiale che lo costituisce pari a  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

I carichi trasferiti dalle macchine che operano in prossimità del cantiere sono stati considerati applicando un carico ( su una fascia larga 5.0 m ) pari a

$$q = 10 \text{ kPa}$$

### 6.4 Fasi di calcolo

Sono stte considerate le seguenti fasi di calcolo:

1. generazione delle tensioni litostatiche;
2. realizzazione della paratia;
3. prescavo per inserimento dei puntoni tubolari;
4. inserimento dei puntoni tubolari;
5. raggiungimento del fondo scavo di progetto.

### 6.5 Caratteristiche dei terreni e degli elementi strutturali

Si riportano nella seguente tabella le caratteristiche meccaniche dei terreni interagenti con le opere, segnalando che, cautelativamente, si è posta sempre pari al valore nullo la coesione efficace dei terreni suddetti.

	Terreni	YDRY [kN/m <sup>3</sup> ]	YSAT [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>2</sup> ]
	R Sabbia / Ghiaia	18	18	0	31	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
	L1 Limo	17	17	0	22	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
	A2 Limo	18	18	0	21	E <sub>vc</sub> = 60000 E <sub>ur</sub> = 120000
	S Sabbia / Ghiaia	18	18	0	30	E <sub>vc</sub> = 80000 E <sub>ur</sub> = 160000

**Tabella 4. Caratteristiche meccaniche dei terreni nel modello**

I puntone sono stati schematizzati come molle elastiche, tenendo conto anche della loro inclinazione rispetto alla normale della paratia. Le rigidezze sono calcolate nella tabella seguente.

<b>Sezione A - Spalla A</b>			<b>Sezione B - Spalla B</b>		
Puntone	tubolare		Puntone	tubolare	
diametro	219,1	mm	diametro	219,1	mm
spessore	10	mm	spessore	10,0	mm
Lunghezza	4,3	m	Lunghezza	7	m
L/2	2,15	m	L/2	3,5	m
Interasse	3,1	m	Interasse	4,9	m
A	65,691	cm <sup>2</sup>	A	65,691	cm <sup>2</sup>
E	2,10E+08	kN/m <sup>2</sup>	E	2,10E+08	kN/m <sup>2</sup>
β	45	°	β	45	°
EA/iL	2,07E+05	kN/m/m	EA/iL	8,04E+04	kN/m/m
EA/iL proiettato	1,46E+05	kN/m/m	EA/iL proiettato	5,69E+04	kN/m/m

**Tabella 5. Rigidezza molle per schematizzazione puntone**

I micropali a cavalletto (Sezione B) sono stati schematizzati come tiranti aventi lunghezza libera

L<sub>1</sub> = 0

e lunghezza del bulbo

L<sub>b</sub> = 12.0 m



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>NN1X</b>	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	20 di 34

applicando un moltiplicatore di rigidezza pari a

% efficacia bulbo = 50 %

## 7 RISULTATI DELLE ANALISI

### 7.1 Sezione A

#### SPOSTAMENTI – CONDIZIONE SLE RARA

Terreni	c' [kPa]	φ° [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>3</sup> ]
R Sabbia / Ghiaia	0	31	E <sub>ur</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
L1 Limo	0	22	E <sub>ur</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
A2 Limo	0	21	E <sub>ur</sub> = 60000 E <sub>ur</sub> = 120000
S Sabbia / Ghiaia	0	30	E <sub>ur</sub> = 80000 E <sub>ur</sub> = 160000

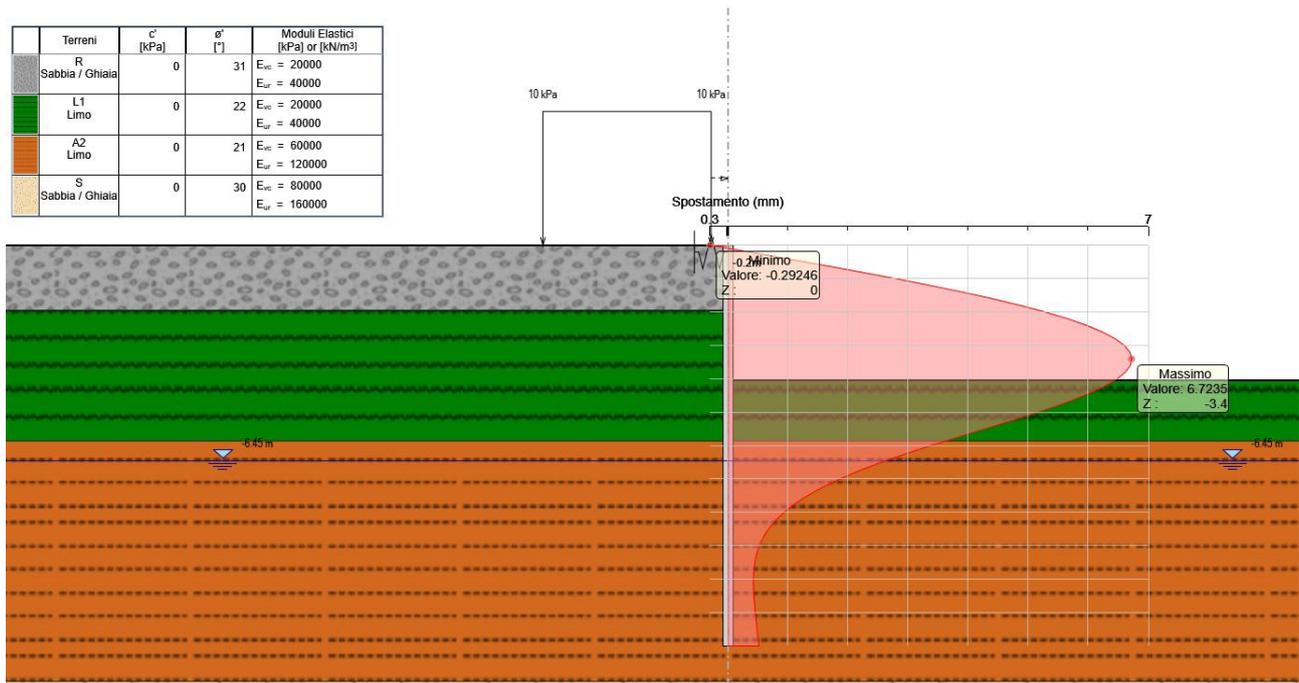


Figura 4. Spostamenti orizzontale massimo paratia A - u = 6.8 mm

#### SOLLECITAZIONI – CONDIZIONE SLU-STR

Terreni	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>3</sup> ]
R Sabbia / Ghiaia	0	31	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
L1 Limo	0	22	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
A2 Limo	0	21	E <sub>vc</sub> = 60000 E <sub>ur</sub> = 120000
S Sabbia / Ghiaia	0	30	E <sub>vc</sub> = 80000 E <sub>ur</sub> = 160000

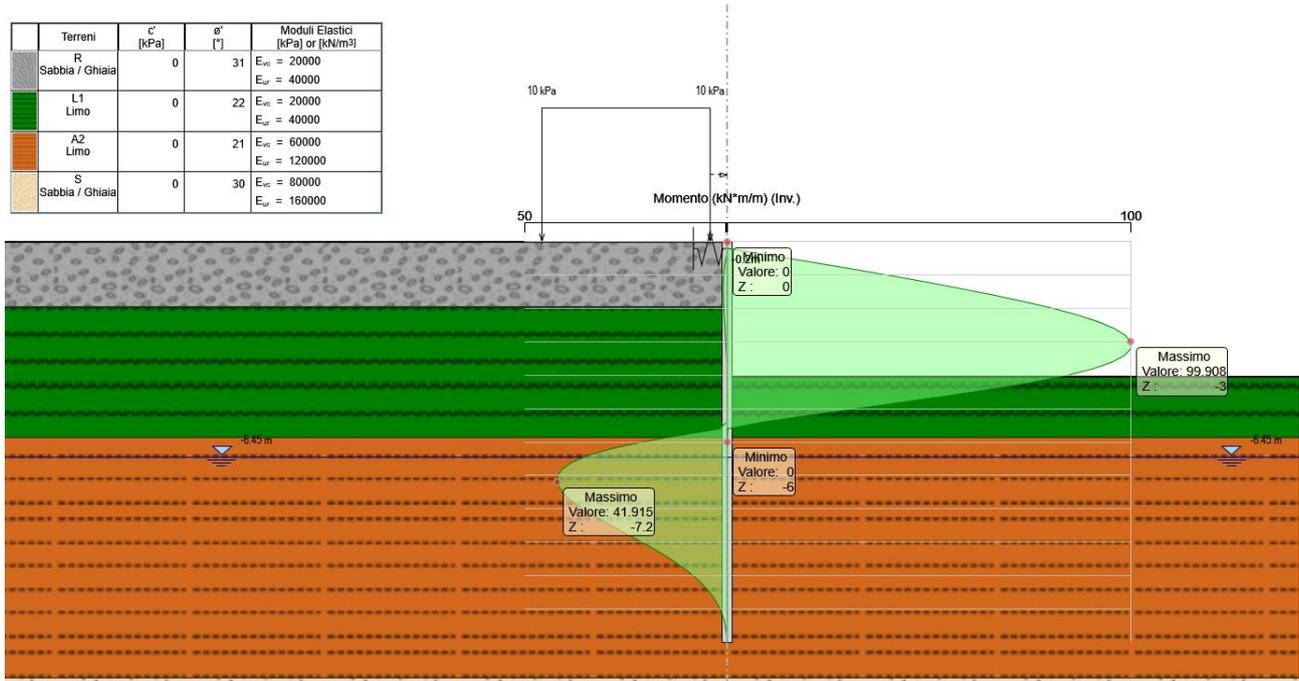


Figura 5. Momento massimo paratia A condizioni SLU-STR M max = 99.9 kNm/m

Terreni	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>3</sup> ]
R Sabbia / Ghiaia	0	31	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
L1 Limo	0	22	E <sub>vc</sub> = 20000 E <sub>ur</sub> = 40000
A2 Limo	0	21	E <sub>vc</sub> = 60000 E <sub>ur</sub> = 120000
S Sabbia / Ghiaia	0	30	E <sub>vc</sub> = 80000 E <sub>ur</sub> = 160000

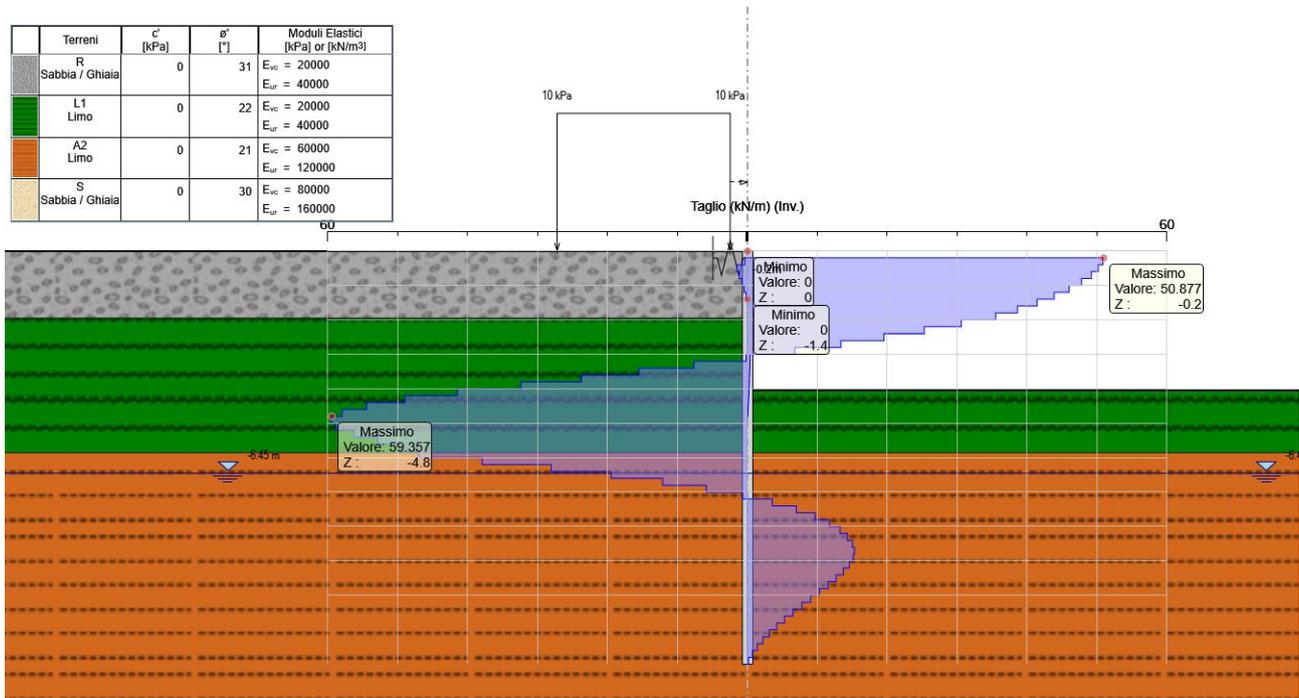


Figura 6. Taglio massimo paratia A condizioni SLU-STR T max = 59.4 kN/m

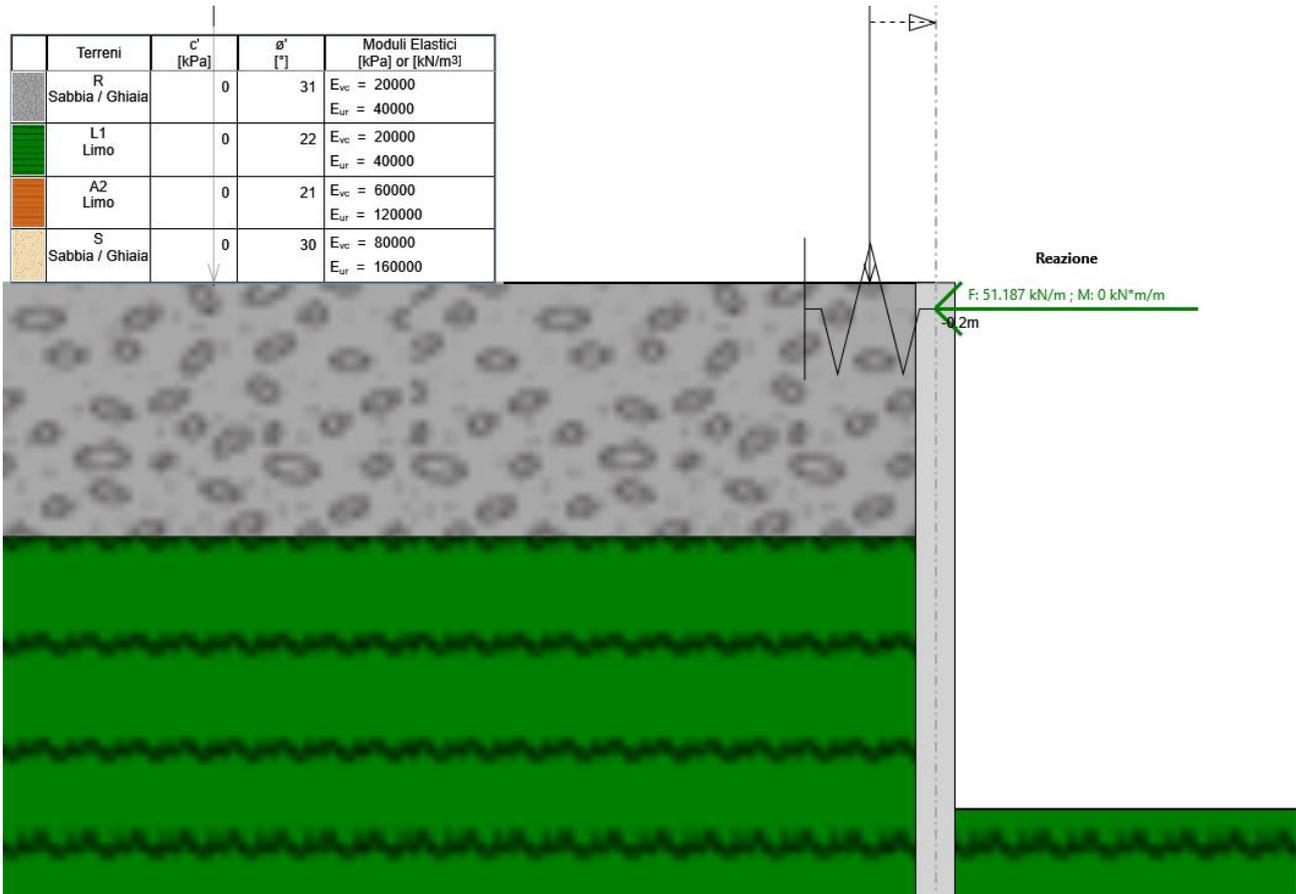


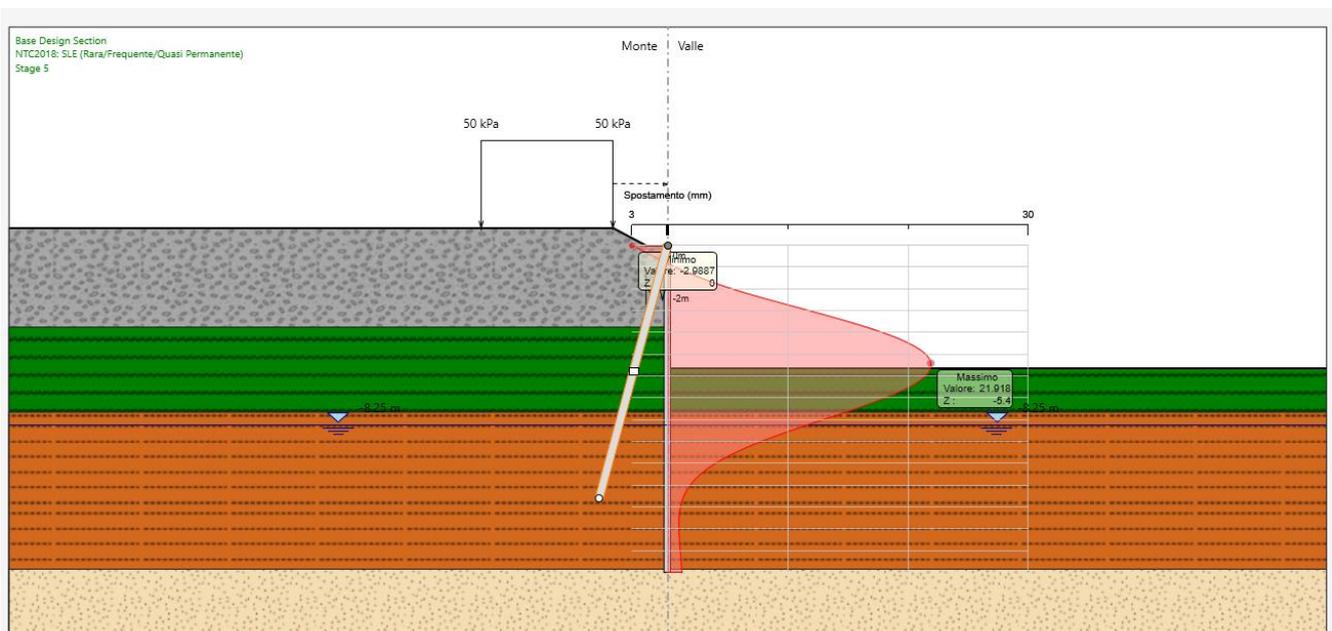
Figura 7. Sforzo normale massimo su puntoni paratia A condizioni SLU-STR -  $N_{max} = 51.2 \text{ kN/m}$

Si riporta nel seguito per chiarezza il calcolo dello sforzo normale effettivamente agente sul puntone, considerando anche la sua inclinazione planimetrica.

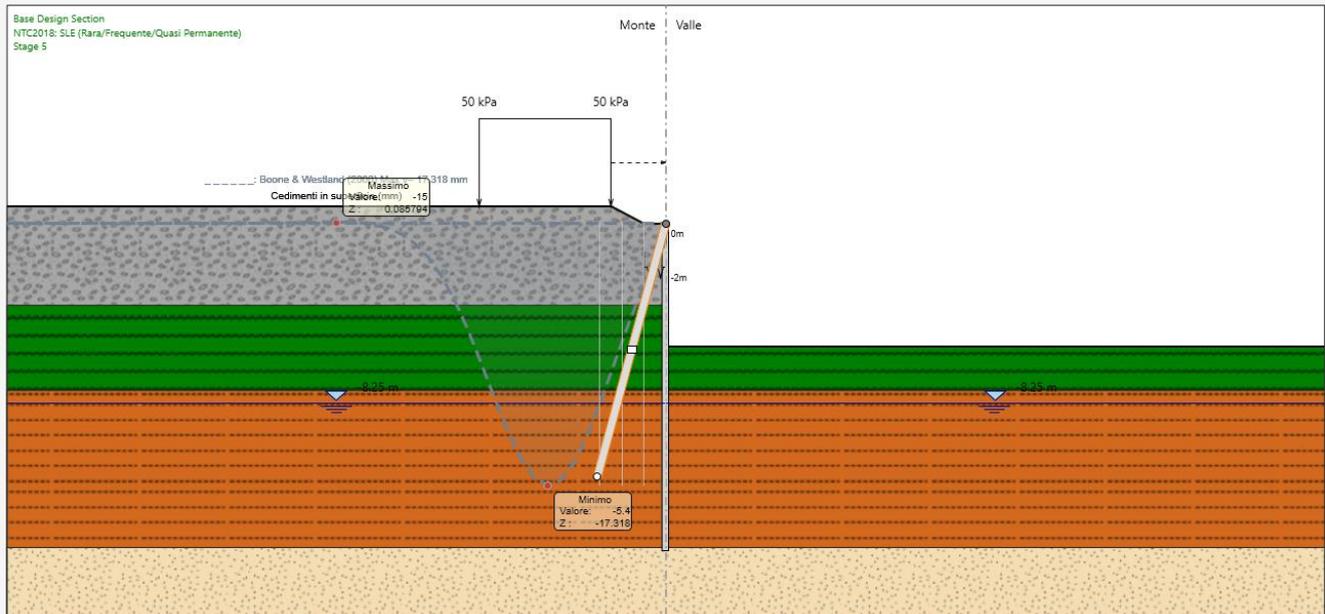
<b>Sezione A - Spalla A</b>		
Puntone	tubolare	
diametro	219.1	mm
spessore	10	mm
Lunghezza	4.3	m
L/2	2.15	m
Interasse	3.1	m
A	65.691	cm <sup>2</sup>
E	2.10E+08	kN/m <sup>2</sup>
$\beta$	45	°
EA/iL	2.07E+05	kN/m/m
EA/iL proiettato	1.46E+05	kN/m/m
CARICHI AGENTI		
N da paratie	51.2	kN/m
N	158.72	kN
N agente	112.23	kN

## 7.2 Sezione B

### SPOSTAMENTI – CONDIZIONE SLE RARA

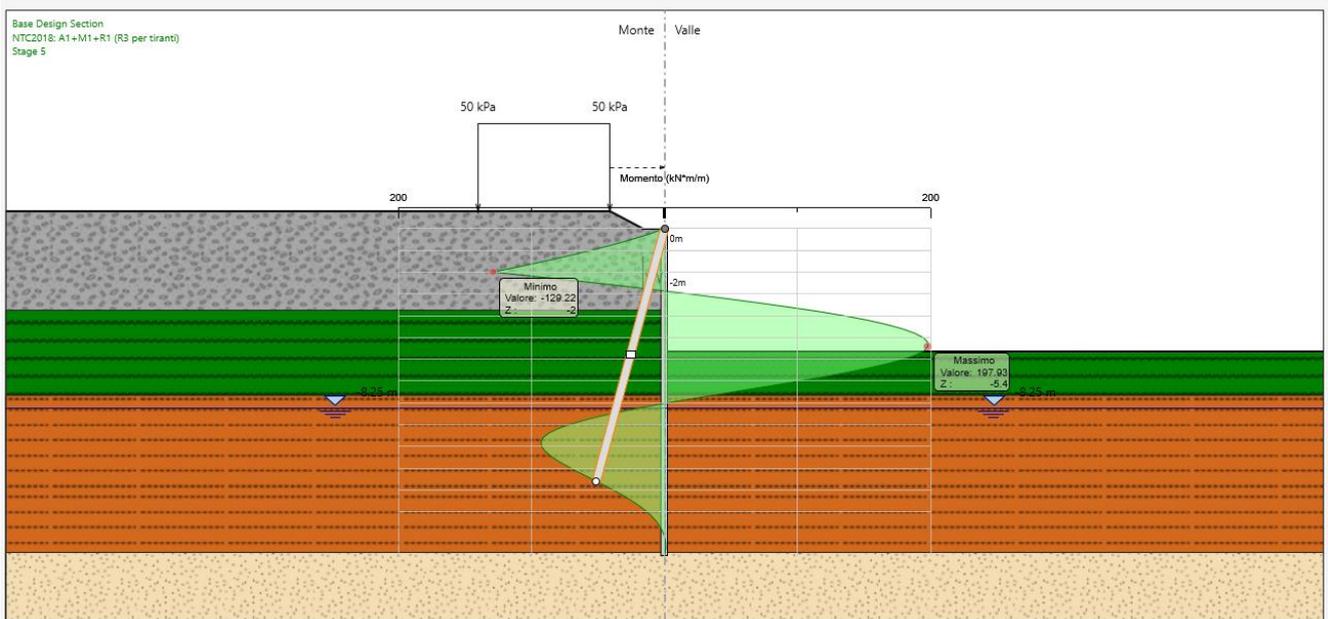


**Figura 8. Spostamento orizzontale massimo paratia B -  $u = 21.9$  mm**



**Figura 9. Cedimento massimo in asse binari  $w_{max} = 17.3$  mm**

**SOLLECITAZIONI – CONDIZIONE SLU-STR**



**Figura 10. Momento massimo paratia B condizioni SLU-STR  $M_{max} = 197.93$  kNm/m**

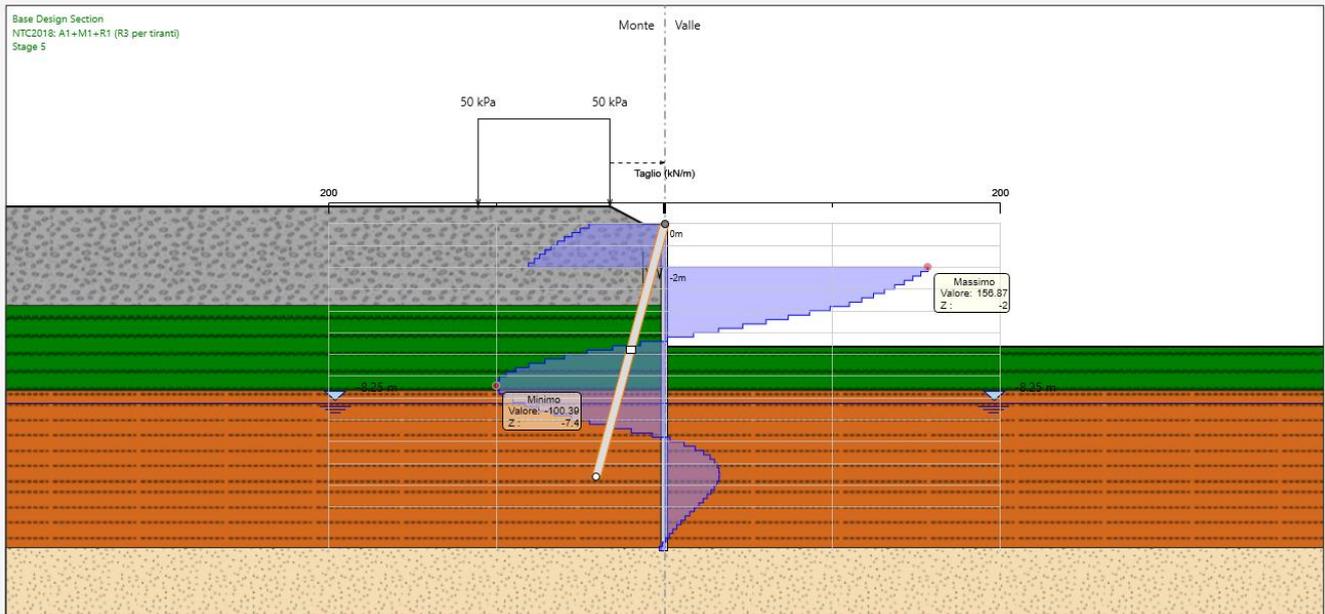


Figura 11. Taglio massimo paratia B condizioni SLU-STR T max = 156.87 kN/m

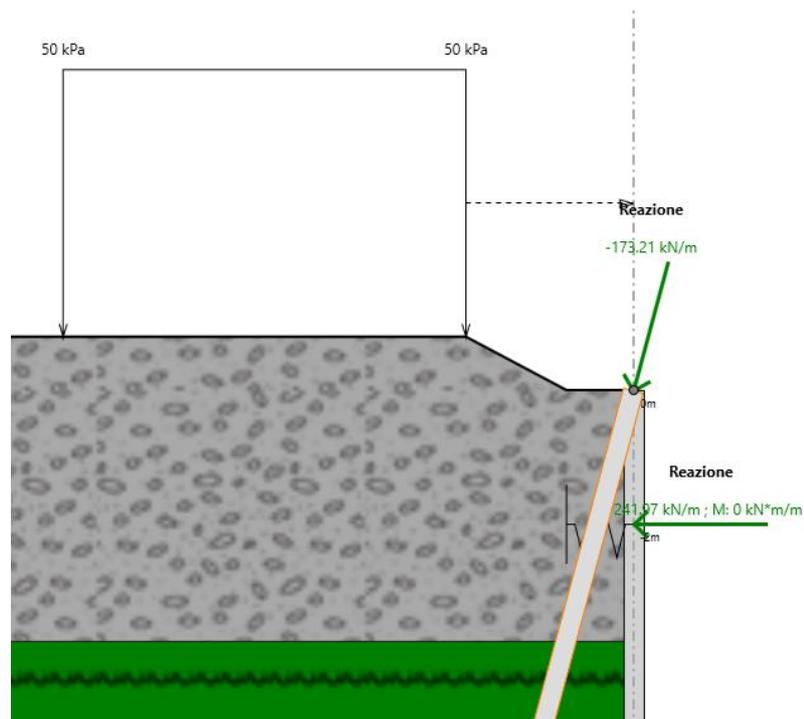


Figura 12. Sforzo normale massimo su puntoni e tiro massimo su micropalo a cavalletto paratia B condizioni SLU-STR

Si riporta nel seguito per chiarezza il calcolo dello sforzo normale effettivamente agente sul puntone, considerando anche la sua inclinazione planimetrica.

<b>Sezione B - Spalla B</b>		
Puntone	tubolare	
diametro	219,1	mm
spessore	10,0	mm
Lunghezza	7	m
L/2	3,5	m
Interasse	4,9	m
A	65,691	cm <sup>2</sup>
E	2,10E+08	kN/m <sup>2</sup>
$\beta$	45	°
EA/iL	8,04E+04	kN/m/m
EA/iL proiettato	5,69E+04	kN/m/m
CARICHI AGENTI		
N da paratie	241,97	kN/m
N	1185,65	kN
N agente	838,38	kN



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	28 di 34

## 8 VERIFICHE SLU

### 8.1 Verifica EQU

Il soddisfacimento della verifica EQU (rotazione intorno ad un punto) è garantito dal raggiungimento della condizione di convergenza del codice di calcolo, che assicura il rispetto della condizione di equilibrio delle forze orizzontali e dell'equilibrio a rotazione.

### 8.2 Verifica STR

La seguente tabella riepiloga le sollecitazioni massime nelle palancole e sulla trave di ripartizione dei puntoni e le verifiche effettuate.

Note le massime sollecitazioni di taglio e momento flettente in condizione di SLU è possibile verificare l'acciaio dei tubolari ricordando che la tensione ideale  $\sigma_{id}$  dell'acciaio, deve risultare non maggiore della tensione di progetto dell'acciaio  $f_{yd}$ :

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0.5} \leq f_{yd}$$

Esplicitando la relazione per il calcolo della tensione ideale si ottiene:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{\Psi W}\right)^2 + 3\left(\frac{T_{\max}}{\chi A}\right)^2}$$

dove:

- $\sigma_{id}$  è la tensione allo stato limite ultimo
- $M_{\max}$  è il momento massimo di calcolo
- $T_{\max}$  è il taglio massimo di calcolo
- $A$  è l'area della sezione del profilato
- $\Psi$  è il coefficiente di adattamento plastico del profilato
- $\chi$  è il coefficiente di forma del profilato
- $W$  è il modulo di resistenza della sezione del profilato

Le sollecitazioni riportate nella tabella sono già scalate per l'interasse di calcolo tra i micropali (0.4 per la Sezione A, 0.53 cm-tenendo conto anche della presenza del micropalo inclinato per la Sezione B).



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
 COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
 TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	29 di 34

La verifica è soddisfatta.

**Tabella 6. verifica strutturale micropali sezione A**

Sezione	profilato	$f_{yd}$	W	A	$M_{max}$	$T_{max}$	$\sigma_{id}$	VERIFICA	FS
-	-	MPa	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	kNm	kNm	MPa		
micropali principali	Ø219.1≠10.0	223	328.5	65.7	39.96	23.8	97	OK	FS=2.31

**Tabella 7. verifica strutturale micropali sezione B**

Sezione	profilato	$f_{yd}$	W	A	$M_{max}$	$T_{max}$	$\sigma_{id}$	VERIFICA	FS
-	-	MPa	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	kNm	kNm	MPa		
micropali principali	Ø219.1≠12.0	223	383.4	78.1	104.9	83.1	215.5	OK	FS=1.02

Per quanto riguarda la verifica dei puntoni si trova

**Tabella 8. verifica strutturale puntoni sezione A**

Ordine	Profilo	n. profilati	L	$\beta$	$\lambda$	$\omega$	N	A	$f_{yd}$	$\sigma_{id}$	$\sigma_{instab}$
-	-	-	m	-	-	-	kN	cm <sup>2</sup>	MPa	MPa	MPa
1	Ø219.1≠10.0	1.00	4.30	1.00	58.10	1.14	112	65.69	223	17	19

**Tabella 9. verifica strutturale puntoni sezione B**

Ordine	Profilo	n. profilati	L	$\beta$	$\lambda$	$\omega$	N	W	A	$f_{yd}$	$\sigma_{id}$	$\sigma_{instab}$
-	-	-	m	-	-	-	kN	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	MPa	MPa	MPa
1	Ø219.1≠10.0	1.00	7.0	1.00	94.6	1.49	838.4	328.5	65.7	223	127.6	190.0

Come si nota sia la tensione ideale sia la tensione amplificata per la verifica all'instabilità sono inferiori a  $f_{yd}$  e pertanto le verifiche risultano soddisfatte

Si riporta inoltre la verifica della trave di ripartizione. Ai fini della distribuzione dei momenti, questa è stata schematizzata come una trave appoggiata ai bordi su 2 appoggi intermedi.

In queste condizioni il momento massimo vale

$$M_{max} = \frac{(N/i)i^2}{10}$$

ed il taglio massimo vale

$$T_{max} = \frac{(N/i)i}{2}$$

in cui  $i$  è l'interasse dei puntoni (ovvero tra gli appoggi intermedi).

**Tabella 10. verifica strutturale trave di ripartizione sezione A**

Ordine	$F_h$	$i$	$N_{SLU}$	$M_{SLU}$	$T_{SLU}$	$n_p$	Profilo	$A$	$A_w$	$W$	$f_{yd}$	$\sigma_{id}$
	kN/m	m	kN	kNm	kN	-		cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	MPa	MPa
Trave di ripartizione	44.5	3.10	0	42.7	68.9	2	HEB320	322.6	73.6	3852.0	223	10.1

**Tabella 11. verifica strutturale trave di ripartizione sezione B**

Ordine	$F_h$	$i$	$N_{SLU}$	$M_{SLU}$	$T_{SLU}$	$n_p$	Profilo	$A$	$A_w$	$W$	$f_{yd}$	$\sigma_{id}$
	kN/m	m	kN	kNm	kN	-		cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	MPa	MPa
Trave di ripartizione	241.97	4.90	0	581	593	2	HEB320	322.6	73.6	3852.0	223	195.6

### 8.3 Verifica GEO

Si riportano nel seguito i coefficienti di sicurezza residui calcolati in condizioni A2+M2 per le due sezioni. Le verifiche risultano soddisfatte risultando sempre

$FS > 1.1$

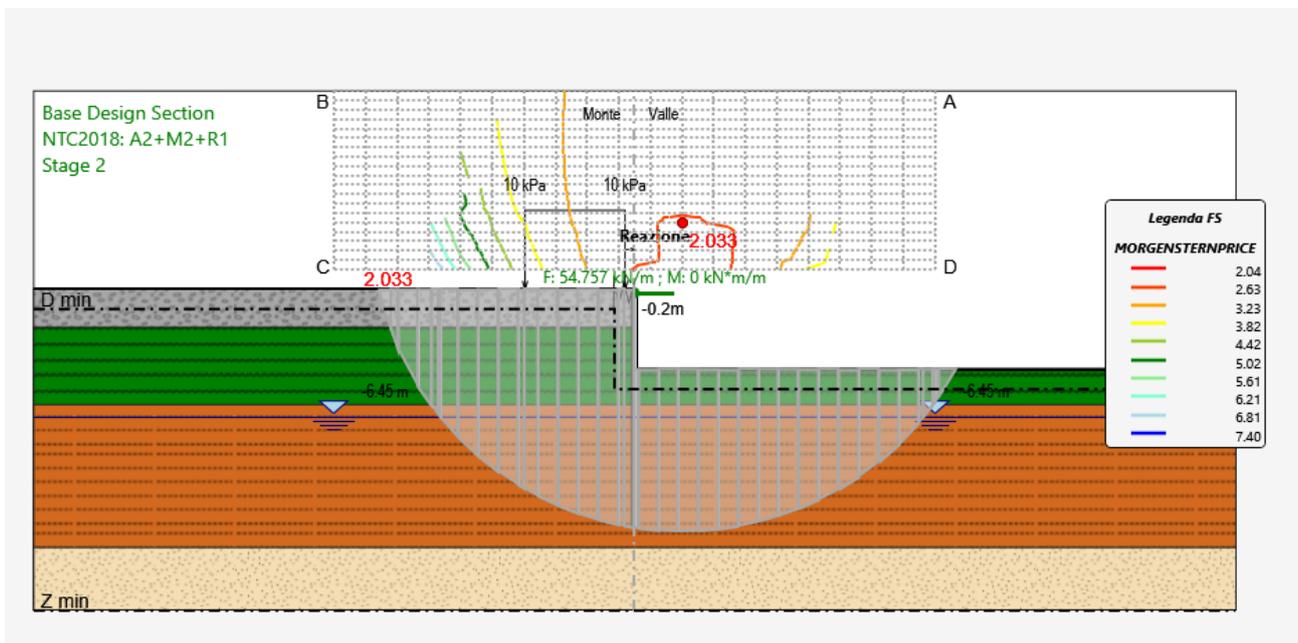
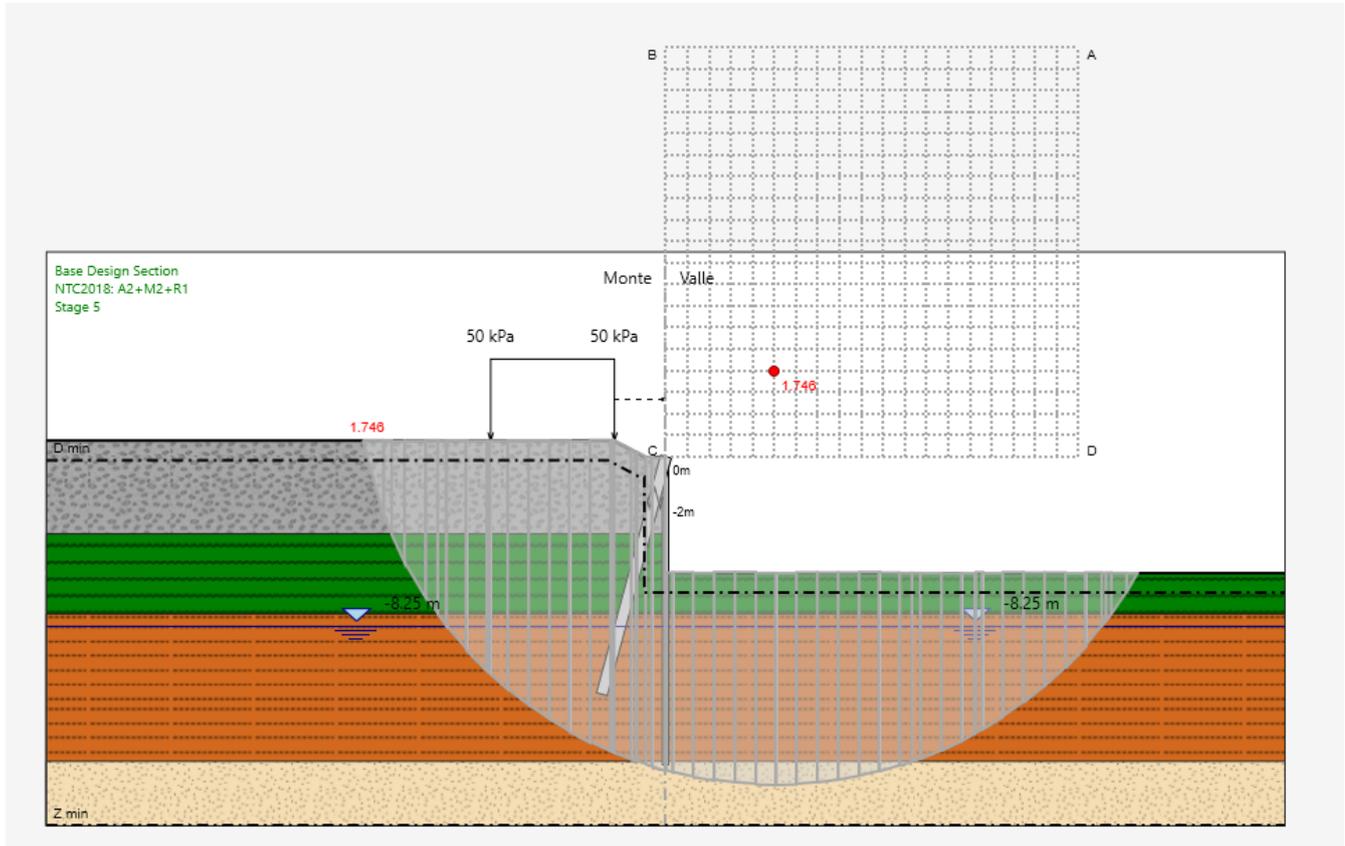


Figura 13. Verifica di stabilità sezione A - FS = 2.0



**Figura 14. Verifica di stabilità sezione B - FS = 1.75**



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
 COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
 TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	33 di 34

Si riporta nel seguito la verifica geotecnica dei micropali a cavalletto, eseguita confrontando il tiro massimo agente con il tiro limite.

Questo ultimo valore è stato calcolato riferendosi alle specifiche della normativa tecnica (NTC 2018) per pali, e con riferimento ad una tensione tangenziale limite pari a

$$\tau = 130 \text{ kPa}$$

I coefficienti di sicurezza parziali utilizzati sono i seguenti

$$\gamma_R = 1.25 \text{ (resistenza laterale in trazione)}$$

$$\xi_{a4} = 1.70 \text{ (1 verticale di indagine)}$$

$$\gamma_R * \xi_{a4} = 2.13$$

**Tabella 12. Verifica a tiro del micropalo a cavalletto sezione B.**

Ordine	$N_Q$	$D_p$	$\alpha\tau_{lim}$	$\gamma_R$	$\xi$	$L_a$	$N_{Rf}$	FS
-	kN	mm	kPa	-	-	m	kN	-
1	277.1	300	130	1.25	1.70	9	519	1.87



LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 09 XCL	VI 03 02 001	A	34 di 34

## 9 VERIFICHE SLE

### 9.1 Verifica DEFORMAZIONI

Per la sezione A lo spostamento massimo della paratia è pari a

$$u = 5.8 \text{ mm}$$

Per la sezione B lo spostamento massimo della paratia è pari a

$$u = 21.9 \text{ mm}$$

mentre il cedimento massimo in asse binari è pari a

$$w = 17.3 \text{ mm}$$

Gli spostamenti calcolati sono ritenuti pienamente soddisfacenti sia delle necessità operative e statiche delle opere di sostegno, sia compatibili con l'operatività della linea esistente.