

Indice

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
5	CRITERI PROGETTUALI	9
5.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	9
5.2	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	13
5.2.1	VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	13
5.2.2	VERIFICHE AGLI SLE.....	15
5.2.3	AZIONI SISMICA	16
5.2.4	COMBINAZIONE DELLE AZIONI	16
5.3	MODELLO DI CALCOLO	17
5.3.1	SPALLA 1	19
5.3.2	SPALLA 2 – PILA 1.....	26
6	RISULTATI DELLE ANALISI.....	32
6.1	SPALLA 1.....	32
6.1.1	SOLLECITAZIONI AGENTI.....	32
6.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI DEI MICROPALI	40
6.1.3	VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO.....	41
6.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DEI TIRANTI E DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE.....	41
6.1.5	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA.....	43
6.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DEI TIRANTI	44
6.1.7	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA	48
6.1.8	STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA	49
6.2	SPALLA 2.....	50
6.2.1	SOLLECITAZIONI AGENTI.....	50
6.2.2	VERIFICHE STRUTTURALI DEI MICROPALI	56

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	3 di 63

6.2.3	VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO	57
6.2.4	VERIFICHE STRUTTURALI DEI TIRANTI E DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE	57
6.2.5	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA	59
6.2.6	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DEI TIRANTI	60
6.2.7	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA	61
6.2.8	STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA	62
7	INCIDENZA ARMATURE	63

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0103 001	REV. A	FOGLIO 4 di 63

1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati del calcolo e del dimensionamento delle opere provvisionali previste per lo scavo delle fondazioni delle spalle e della pila del Viadotto VI01 nell'ambito della progettazione esecutiva del Raddoppio della Tratta Canello - Benevento - 1° Lotto Funzionale Frasso Telesino - Teleso (itinerario Napoli – Bari).

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008).
- [2] Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- [3] DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- [4] RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”
- [5] RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili”
- [6] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [7] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DC1]. IF26 12 E ZZ RB GE0005 001 - Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto.
- [DC2]. IF26 12 EZZ PZ VI0103 001 – Opere provvisionali e pianta scavi Fase 1
- [DC3]. IF26 12 EZZ PZ VI0103 002 – Opere provvisionali e pianta scavi Fase 2

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 14 gennaio 2008. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

Calcestruzzo magro per getti di livellamento		
Classe	C12/15	
$R_{ck} =$	15 Mpa	Resistenza caratteristica cubica
Classe di esposizione =	X0	

Calcestruzzo cordolo paratie		
Classe	C25/30	
$R_{ck} =$	30 Mpa	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	24.9 Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.9 Mpa	Valore medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0.85 -	Coeff. Rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M =$	1.5 -	Coeff. parziale di sicurezza allo SLU
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_M =$	14.11 Mpa	Resistenza di progetto
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	2.56 Mpa	Resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	3.07 Mpa	Resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.79 Mpa	Valore caratteristico resistenza a trazione (frattile 5%)
$\sigma_c = 0.55 \cdot f_{ck} =$	13.70 Mpa	Tensione max in esercizio in comb. rara (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$\sigma_c = 0.40 \cdot f_{ck} =$	9.96 Mpa	Tensione max in esercizio in comb. quasi perm. (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	31447 Mpa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0.2 -	Coefficiente di Poisson
$G_c = E_{cm} / (2(1+\nu)) =$	13103 MPa	Modulo elastico tangenziale di progetto
Condizioni ambientali =	Ordinarie	
Classe di esposizione =	XC2	
$c =$	4.00 cm	Copriferro minimo

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	6 di 63

Malta per micropali			
Classe	C20/25	<input type="button" value="▼"/>	
$R_{ck} =$	25	Mpa	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	20.75	Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	Mpa	Valore medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0.85	-	Coeff. Rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M =$	1.5	-	Coeff. parziale di sicurezza allo SLU
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_M =$	11.76	Mpa	Resistenza di progetto
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	2.27	Mpa	Resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	2.72	Mpa	Resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.59	Mpa	Valore caratteristico resistenza a trazione (frattile 5%)
$\sigma_c = 0.55 \cdot f_{ck} =$	11.41	Mpa	Tensione max in esercizio in comb. rara (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$\sigma_c = 0.40 \cdot f_{ck} =$	8.30	Mpa	Tensione max in esercizio in comb. quasi perm. (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	30200	Mpa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0.2	-	Coefficiente di Poisson
$G_c = E_{cm} / (2(1+\nu)) =$	12584	MPa	Modulo elastico tangenziale di progetto
Condizioni ambientali =	Ordinarie	<input type="button" value="▼"/>	
Classe di esposizione =	XC2	<input type="button" value="▼"/>	

Acciaio per c.a.			
B450C			
$f_{yk} \geq$	450	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	Mpa	Tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k \geq$	1.15	-	
$(f_t/f_y)_k <$	1.35	-	
$\gamma_s =$	1.15	-	Coeff. Parziale di sicurezza allo SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.3	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	Mpa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	0.20%		Deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k =$	7.50%		Deformazione caratteristica ultima
$\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} =$	337.5	Mpa	Tensione in esercizio in comb. rara (rif. §1.8.3.2.1 [3])

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	7 di 63

Acciaio tubi di armatura micropali			
S275			
$f_{yk} \geq$	355	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	Mpa	Tensione caratteristica di rottura
$\gamma_s =$	1.05	-	Coeff. Parziale di sicurezza allo SLU
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s =$	338.1	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	Mpa	Modulo elastico di progetto

Acciaio per carpenteria metallica (Travi ripartizione, piastre metalliche)			
EN 10025 - S355 JR			
$f_{yk} \geq$	355	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	510	Mpa	Tensione caratteristica di rottura
$\gamma_s =$	1.05	-	Coeff. Parziale di sicurezza allo SLU
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s =$	338.1	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	Mpa	Modulo elastico di progetto

Trefoli in acciaio armonico per tiranti			
$f_{p(1)k} \geq$	1670	Mpa	Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale
$f_{ptk} \geq$	1860	Mpa	Tensione caratteristica di rottura
$A_{gt} =$	3.5	%	Allungamento sotto carico massimo:
$\gamma_s =$	1.15	-	Coeff. Parziale di sicurezza allo SLU
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s =$	1452.2	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	Mpa	Modulo elastico di progetto

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Lo schema geotecnico di riferimento per l'opera in oggetto fa riferimento alla Relazione Geotecnica Generale di linea delle opere all'aperto (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001).

Di seguito si riassumono i parametri di resistenza e la stratigrafia di progetto per le formazioni interagenti con le opere. In aggiunta alla formazioni presenti a partire dal piano campagna, si considera anche quella relativa al rilevato ferroviario esistente.

Tabella 1: Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento

Profondità da p.c. [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	E' [MPa]
da +6.0 a 0.0	Rilevato esistente	20	35	0	50
da 0.0 a 6.0	ba3	19.5	26	0	20
da 6.0 a 17.1	TGC2	18.5	35	0	60
> 17.1	MDL3	20	25	30	80

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati in Tabella 1.

In particolare i coefficienti di spinta attiva e passiva (k_a e k_p) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb, considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo $\delta=0.6\phi'$.

Il livello di falda è stato assunto ad una profondità di 9.5 m dal piano campagna, come risulta dalle letture piezometriche. Considerando quindi nel modello uno spessore del rilevato ferroviario pari a 6.0, la falda si assume ad una profondità di $(6.0+9.5)m \approx 15m$ dalla testa dei micropali.

La distribuzione delle pressioni interstiziali è stata assunta idrostatica a monte e a valle della paratia.

5 CRITERI PROGETTUALI

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento dell'opera di sostegno durante le varie fasi di lavoro si è utilizzato un metodo di calcolo capace di simulare l'interazione terreno-paratia. L'analisi è stata sviluppata con il software Paratie Plus di Harpaceas.

PARATIE è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto come un problema piano in cui viene analizzata una "striscia" di parete di sviluppo unitario, come mostrato nella seguente figura.

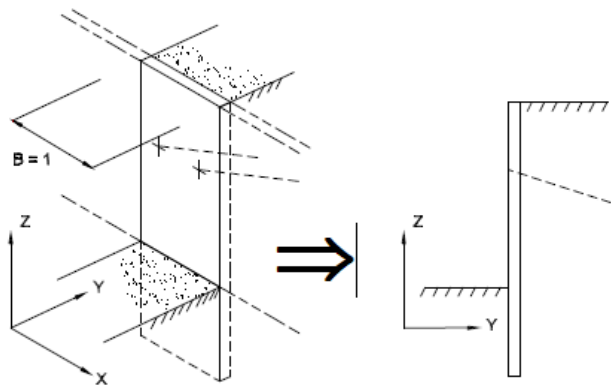


Figura 1: Modellazione piana della paratia

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico"; le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

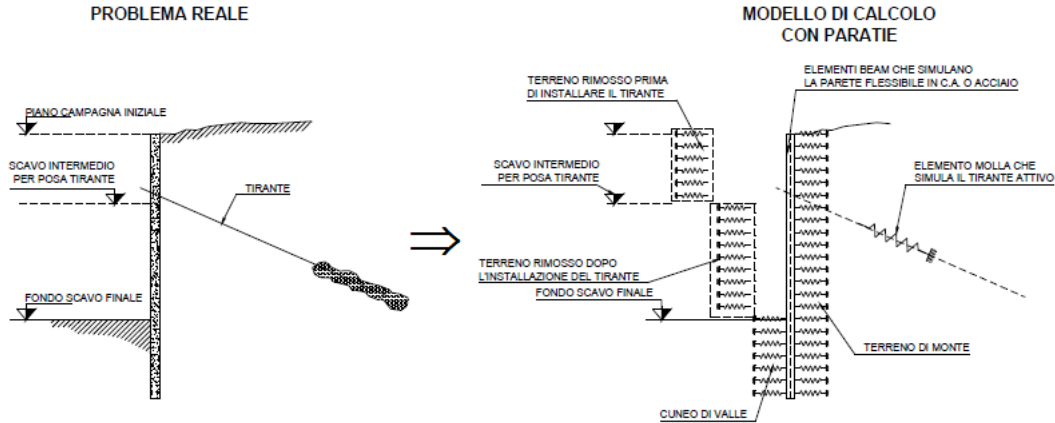


Figura 2: Schematizzazione terreno ed ancoraggi

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate/puntellate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi "statica incrementale": ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti/vincoli applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

LUNGHEZZA LIBERA DEI TIRANTI

La lunghezza libera del tirante è definita dalla intersezione dell'asse del tirante con un piano inclinato di $(45^\circ - \varphi'/2)$ sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante $0.2 \cdot h$. Si ha dunque:

$$L_{ti} = h' + (H - h_{ti}) \cdot \frac{\sin(45 - \varphi/2)}{\cos(45 - \frac{\varphi}{2} - \alpha)}$$

dove:

H = altezza totale della paratia

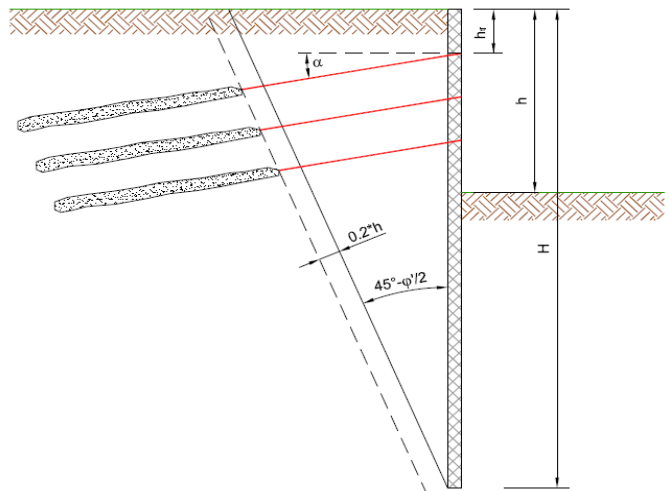
h_{ti} = distanza dalla testa della paratia al tirante i-esimo

φ' = angolo d'attrito del terreno;

α = angolo d'inclinazione del tirante sull'orizzontale;

h = altezza fuori scavo paratia;

$h' = 0.2 \cdot h$



	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0103 001	REV. A	FOGLIO 11 di 63

LUNGHEZZA DEL BULBO DI FONDAZIONE

La lunghezza del bulbo di fondazione si ottiene attraverso la relazione:

$$L_b = T_{max} / [\pi \cdot D_{n,perf} \cdot \alpha \cdot R_{ac} / (\xi_{a3} \cdot \gamma_{Ra,t})]$$

con

T_{max} = tiro massimo del tirante;

$D_{n,perf}$ = diametro nominale di perforazione

R_{ac} = tensione limite di attrito laterale

ξ_{a3} = coefficiente parziale in funzione delle verticali indagate

$\gamma_{Ra,t}$ = coefficiente parziale per i tiranti

VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

Per le analisi è stato utilizzato il codice di calcolo PARATIE PLUS, applicando i metodi di analisi all'equilibrio limite di Bishop.

La verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura, la si suddivide in conci la parte instabile, studiando dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi la stabilità globale. Le ipotesi del metodo in questione sono:

il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;

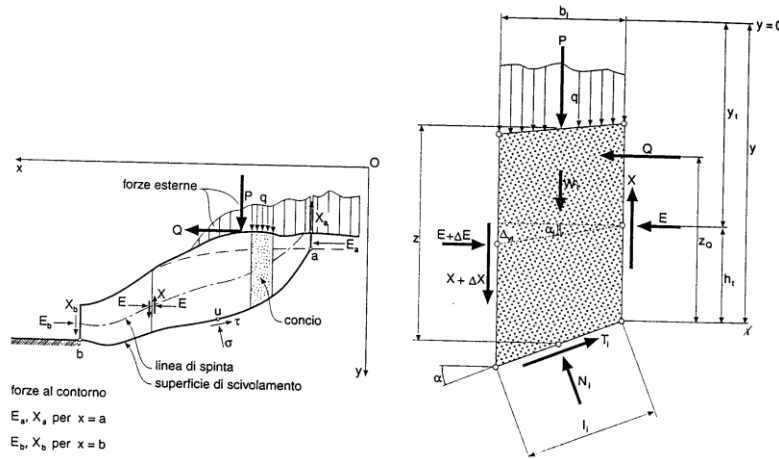
la rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.

il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.

la resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tale metodo di calcolo si fa sempre riferimento ad un problema piano nel quale, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva, trascurando ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia ("Metodo delle strisce").



Schematizzazione di calcolo del Metodo delle strisce

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso W , l'azione tangenziale alla base T , l'azione normale efficace alla base N , la spinta dell'acqua sulla base U , gli sforzi tangenziali X e quelli normali E sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in n conci, si hanno a disposizione $3n$ equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere $(5n-2)$ così composte:

n valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.

$n-1$ valori per ciascuna delle forze d'interfaccia (X ed E)

$n-1$ valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.

n valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.

1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno $(2n-2)$ incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato; per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse a secondo del metodo che si considera; nel presente caso sono state adottate quelle proposte da Bishop.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0103 001	REV. A	FOGLIO 13 di 63

5.2 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2008.

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

5.2.1 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ovvero:

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

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

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 $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = \gamma_E E_k$. Nella formulazione delle resistenze R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulle resistenze 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 degli approcci previsti dalla normativa.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0103 001	REV. A	FOGLIO 14 di 63

PARATIE

Le verifiche sono state sviluppate adottando per gli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) e geotecnico (GEO):

- Approccio 1, Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);
- Approccio 1, Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO).

I coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) e per le resistenze (R) sono in accordo alla Tab. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I e 6.8.I (stabilità) di cui alle NTC 2008.

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 del DM 14/01/2008.

TIRANTI

Gli stati limite ultimi dei tiranti di ancoraggio si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare rispettata la condizione $E_d \leq R_d$ 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, 6.6.I di cui alle NTC 2008.

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto E_d con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i fattori parziali γ_R riportati nella tabella 6.6.I di cui alle NTC 2008.

Nel presente caso, essendo l'opera provvisoria, il coefficiente parziale di sicurezza è pari a 1.1.

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} si può determinare:

- a) dai risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova;
- b) con metodi di calcolo analitici, dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

Nel presente caso si utilizzeranno i metodi analitici utilizzando i valori caratteristici geotecnici dedotti dalle prove in sito e di laboratorio.

Dunque il valore della resistenza caratteristica R_{ak} si valuta considerando il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo. Per la valutazione dei fattori ξ_{a3} e ξ_{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 (tabella 6.6.III di cui alle NTC 2008)

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

Nel presente caso si assume un valore di ξ_{a3} e ξ_{a4} pari a 1.75, relativo a 2 verticali indagate.

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	15 di 63

Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi non si applicano coefficienti parziali di sicurezza sui valori caratteristici della resistenza del terreno; si fa quindi riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza M1.

Nei tiranti il cui tratto libero è realizzato con trefoli di acciaio armonico, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, si deve verificare che la resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio deve risultare minore della resistenza a snervamento dell'armatura.

5.2.2 VERIFICHE AGLI SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d,$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. In condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera di sostegno dovranno essere compatibili con la funzionalità.

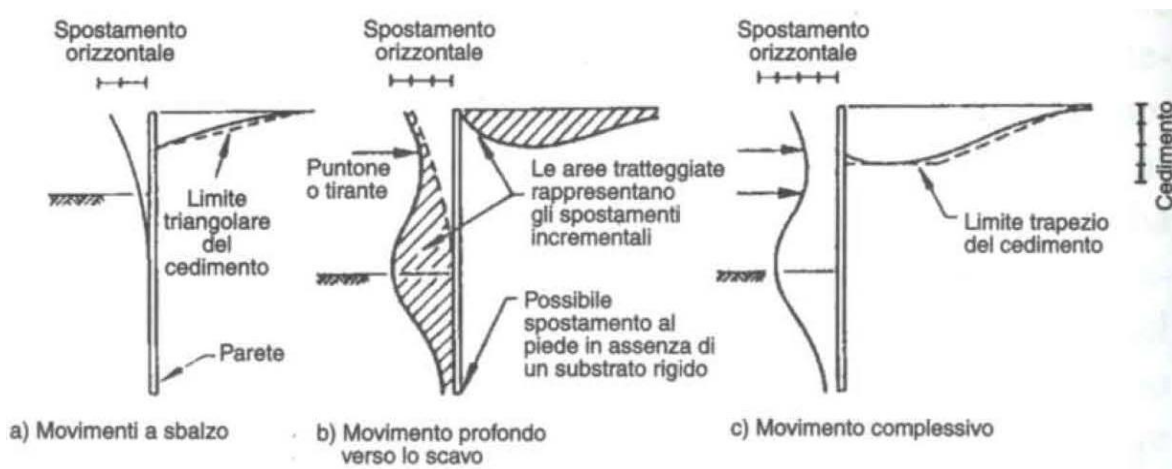
Trattandosi di un'opera provvisoria le verifiche a fessurazione sono omesse.

VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI INDOTTI DALLO SCAVO

Nel caso in esame si fa riferimento allo studio di Clough & O'Rourke (1990) che raggruppa le osservazioni sperimentali disponibili sui movimenti del piano di campagna a tergo dello scavo nelle seguenti tre categorie principali:

- scavi in terreni granulari;
- scavi in terreni coesivi da consistenti a molto consistenti;
- scavi in terreni coesivi da teneri a mediamente consistenti.

Sulla base delle misure sudette Clough & O'Rourke (1990), hanno proposto il seguente meccanismo interpretativo per i movimenti del terreno a tergo della struttura di sostegno (figura seguente).



Le correlazioni degli spostamenti verticali del piano campagna con gli spostamenti orizzontali massimi delle pareti, forniscono un rapporto pressoché costante, compreso tra 0.5 ed 1.0, a seconda che si tratti di una paratia a sbalzo o puntonata.

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	16 di 63

$$\frac{S_{v,max}}{S_{W,max}} = 1 \text{ per cinematiche di tipo "profondo" (paratie puntonate)}$$

$$\frac{S_{v,max}}{S_{W,max}} = 0.5 \text{ per cinematiche di tipo "a sbalzo" (paratie libere)}$$

5.2.3 AZIONI SISMICA

Trattandosi di un'opera provvisoria la cui durata è inferiore a 2 anni (vedasi paragrafo 2.4.1 delle NTC 2008) le verifiche sismiche sono omesse.

5.2.4 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

In accordo alle NTC2008 si sono considerate le combinazioni delle azioni nel seguito descritte in cui si indica con:

G = azioni permanenti dovute al peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno; forze indotte dal terreno; forze dovute alla pressione dell'acqua.

Q_k = Azioni variabile corrispondente al sovraccarico di 10 kPa (mezzi di cantiere)

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

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q_k$$

- Combinazione caratteristica (rara) impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE):

$$G + Q_k$$

Opere provvisoriale pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	17 di 63

5.3 MODELLO DI CALCOLO

Le paratie sono costituite da micropali verticali Ø240mm posti ad interasse 0.40m, di lunghezza variabile da 8.6m a 13.6 m. I micropali sono armati con tubo in acciaio Φ168.3mm sp.=6 mm non valvolato, il getto della miscela cementizia avviene per gravità. In testa ai micropali è presente un cordolo di collegamento in c.a. gettato in opera di dimensioni trasversali pari a 0.5x0.5m. Le paratie risultano tirantate su più ordini.

Nella tabelle seguenti si sintetizzano le caratteristiche geometriche delle opere per le sezioni di verifica; per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati al progetto.

Caratteristiche Geometriche Paratie														
		L _{micropali} (m)	L _{tubo} (m)	H _{cordolo} (m)	D _{perf} (mm)	int. micropali (m)	Armatura micropali			H _{scavo_max} (m)	n. ordini tiranti			
							Acciaio	Ø (mm)	sp. (mm)					
VI01	Spalla 1	13.6	14	0.5	240	0.40	S355	168.3	6.00	7.80	4			
	Pila 1	11.6	12	0.5	240	0.40	S355	168.3	6.00	7.25	3			
	Spalla 2	11.6	12	0.5	240	0.40	S355	168.3	6.00	7.25	3			
L _{micropali} =	Lunghezza micropali													
L _{tubo} =	Lunghezza tubo di armatura micropali													
H _{cordolo} =	Altezza del cordolo di coronamento													
D _{perf} =	Diametro di perforazione micropali													
int. micropali =	Interasse micropali													
H _{scavo_max} =	Altezza di scavo massimo da base cordolo													
Caratteristiche Geometriche Tiranti														
		Tiranti								Trefoli				
		Ordine	H _t (m)	α (°)	i (m)	D _{perf_tir} (mm)	Iniezione	L _{libera} (m)	L _{fond} (m)	L _{tot} (m)	n. trefoli	A _{tref} (mm ²)	Acciaio	N ₀ (kN)
VI01	Spalla 1	1	0.5	30	2.4	180	IRS	11.0	5.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	150
		2	2.5	30	2.4	180	IRS	8.0	8.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	250
		3	4.5	30	2.4	180	IRS	7.0	12.0	19.0	4	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	350
		4	6.5	30	2.4	180	IRS	6.0	12.0	18.0	4	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	400
	Pila 1	1	0.5	30	2.4	180	IRS	11.0	5.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	150
		2	3.0	30	2.4	180	IRS	8.0	8.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	250
		3	5.5	30	2.4	180	IRS	7.0	12.0	19.0	4	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	350
	Spalla 2	1	0.5	30	2.4	180	IRS	11.0	5.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	150
		2	3.0	30	2.4	180	IRS	8.0	8.0	16.0	3	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	250
		3	5.5	30	2.4	180	IRS	7.0	12.0	19.0	4	139	f _{p(1)k} =1670 MPa	350
H _t =	Quota dei tiranti ripetuto alla base del cordolo													
α =	Inclinazione dei tiranti rispetto all'orizzontale													
i =	Interasse dei tiranti													
D _{perf_tir} =	Diametro di perforazione dei tiranti													
L _{libera} =	Lunghezza libera dei tiranti													
L _{fond} =	Lunghezze del bulbo di fondazione dei tiranti													
A _{tref} =	Area dei trefoli dei tiranti													
N ₀ =	Pretensione dei tiranti													

I carichi agenti in testa alla paratia sono valutati come riportato di seguito e fanno riferimento agli schemi di calcolo mostrati ai paragrafi successivi. Con riferimento al MdP delle Opere civili – Parte II – Sezione 3 (RFI DTC SI CS MA IFS 001), i carichi variabili da traffico ferroviario saranno quelli dovuti al treno di carico SW/2, definito nella tabella 5.2.1 delle NTC 2008.

Le verifiche agli SLU e agli SLE sono state condotte ipotizzando una larghezza di ripartizione dei carichi ferroviari al livello del piano di regolamento pari alla larghezza della traversa più la larghezza dovuta alla diffusione del carico all'interno del ballast. Quest'ultima può essere assunta pari a 45° su un'altezza di 40 cm.

Il coefficiente di amplificazione dinamica dei carichi legati al transito dei convogli ferroviari è posto pari a 1.

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

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	18 di 63

PESO SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA

$\gamma_b =$	18 kN/m ³		(peso specifico ballast)
$H_m =$	0.45 m		(altezza ballast)
*$Q_{eq} =$	8.1 kN/m²		(carico equivalente terreno a tergo paratia)
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			

CARICO VARIABILE DA TRAFFICO FERROVIARIO "TRENO SW/2"

$q_{sw2} =$	150 kN/m		(RFI DTC SI CS MA IFS 001 C par. 3.8.1.3.2.2)
$\alpha =$	1		(coefficiente di adattamento)
$\Phi_2 =$	1		(coefficiente di incremento dinamico)
$L_t =$	2.4 m		(larghezza traversina)
$L_d =$	3.20 m	($L_t+2*0.4$)	(larghezza di diffusione del carico nel ballast+rilevato)
			(RFI DTC SI CS MA IFS 001 C par. 3.8.1.3.2.1)
*$Q_{sw2} =$	46.9 kN/m²		(sovraccarico ferroviario)
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	19 di 63

5.3.1 SPALLA 1

Come indicato al paragrafo precedente, a monte dell'opera si considera come carichi agenti:

$$q_{ballast} = 8.1 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sw2} = 46.9 \text{ kN/m}^2$$

carico uniformemente distribuito dovuto al peso della sovrastruttura ferroviaria

carico uniformemente distribuito dovuto al traffico ferroviario

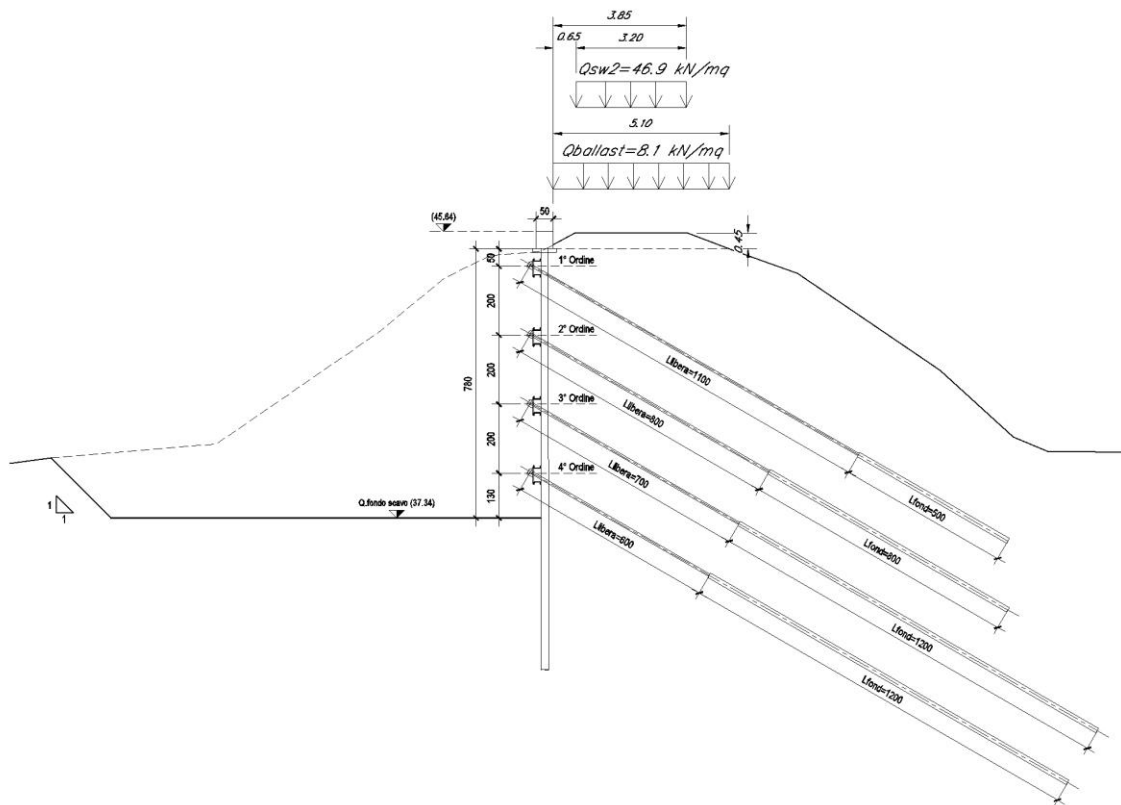


Figura 3: SPALLA 1 - Schema di calcolo

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>VI0103 001</td> <td>A</td> <td>20 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	20 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	20 di 63								

La fasi di calcolo risultano:

- STEP 0): Fase geostatica iniziale e realizzazione dei micropali della paratia; la falda è posta a -15.0m dalla testa dei micropali. Si considera agente il peso permanente della sovrastruttura ferroviaria.
- STEP 1): Scavo fino alla profondità di 1.0m dalla testa dei micropali. I carichi permanenti sono i medesimi della fase precedente. A monte si considera in aggiunta il carico variabile dovuto al traffico ferroviario.
- STEP 2): Realizzazione del 1° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 150 kN (62.5 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 3): Scavo fino alla profondità di 3.0m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 4): Realizzazione del 2° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 250 kN (104 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 5): Scavo fino alla profondità di 5.0m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 6): Realizzazione del 3° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 350 kN (146 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 7): Scavo fino alla profondità di 7.0m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 8): Realizzazione del 4° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 400 kN (167 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 9): Scavo fino alla profondità di 7.80m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	21 di 63

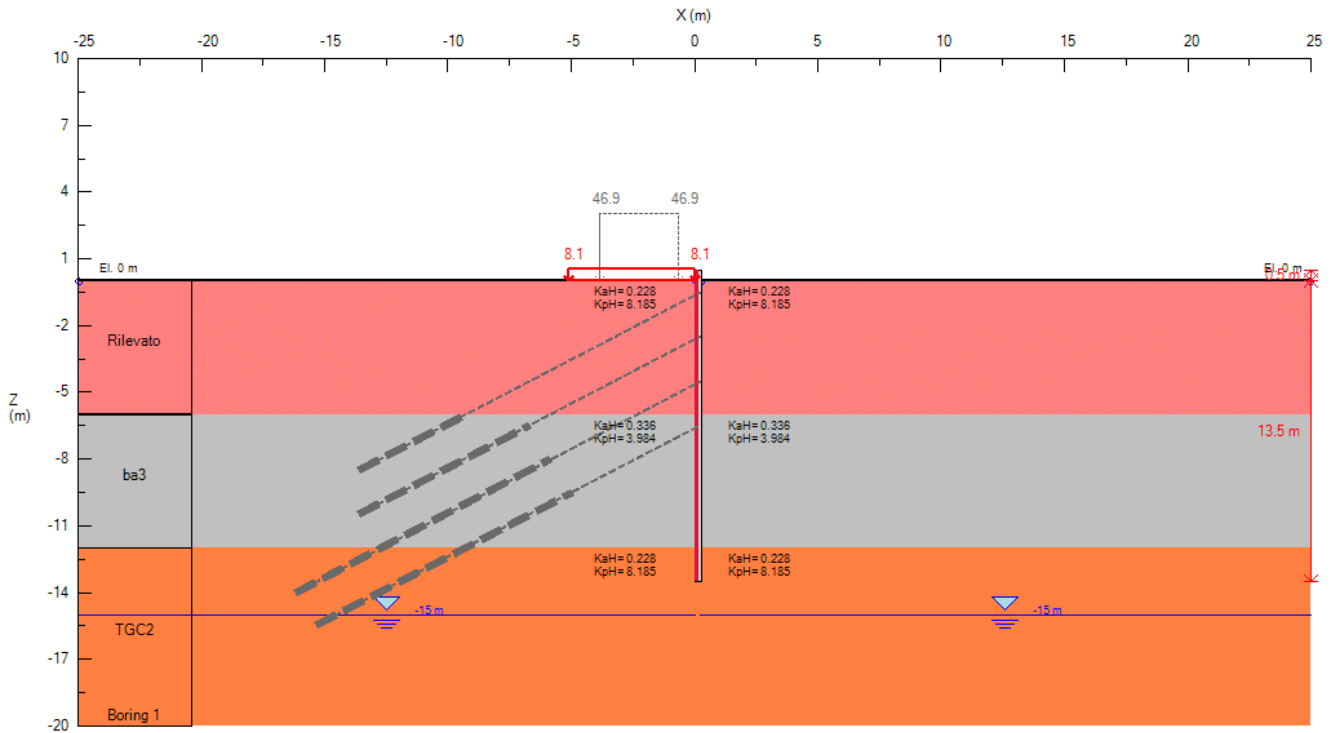


Figura 4: SPALLA 1 - STEP 0)

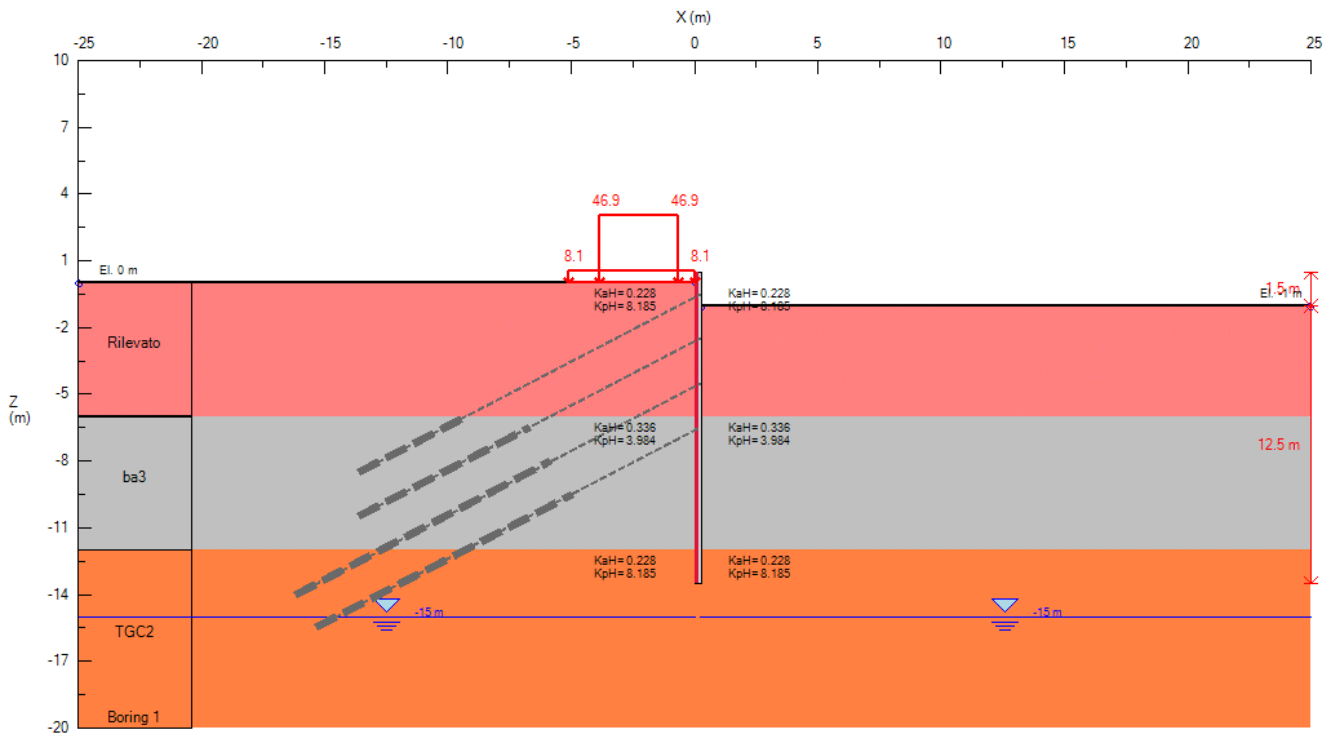


Figura 5: SPALLA 1 - STEP 1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	22 di 63

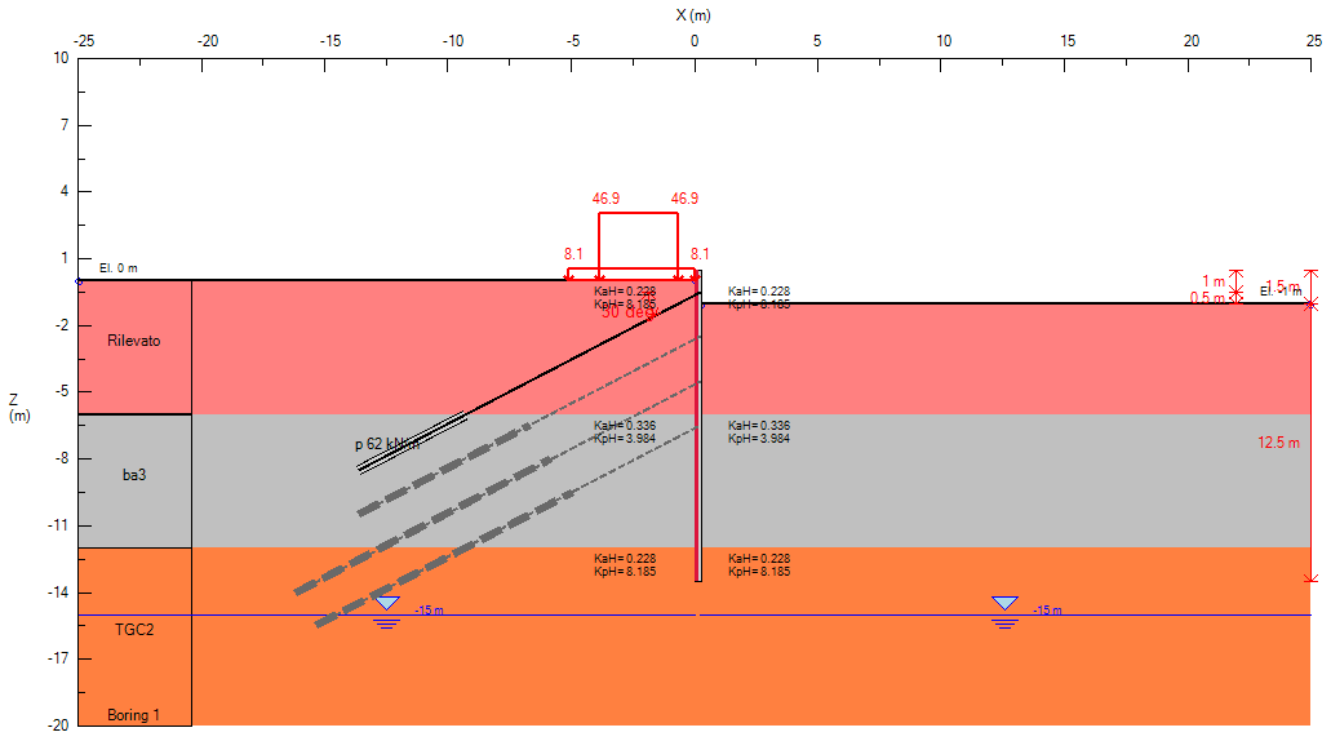


Figura 6: SPALLA 1 - STEP 2)

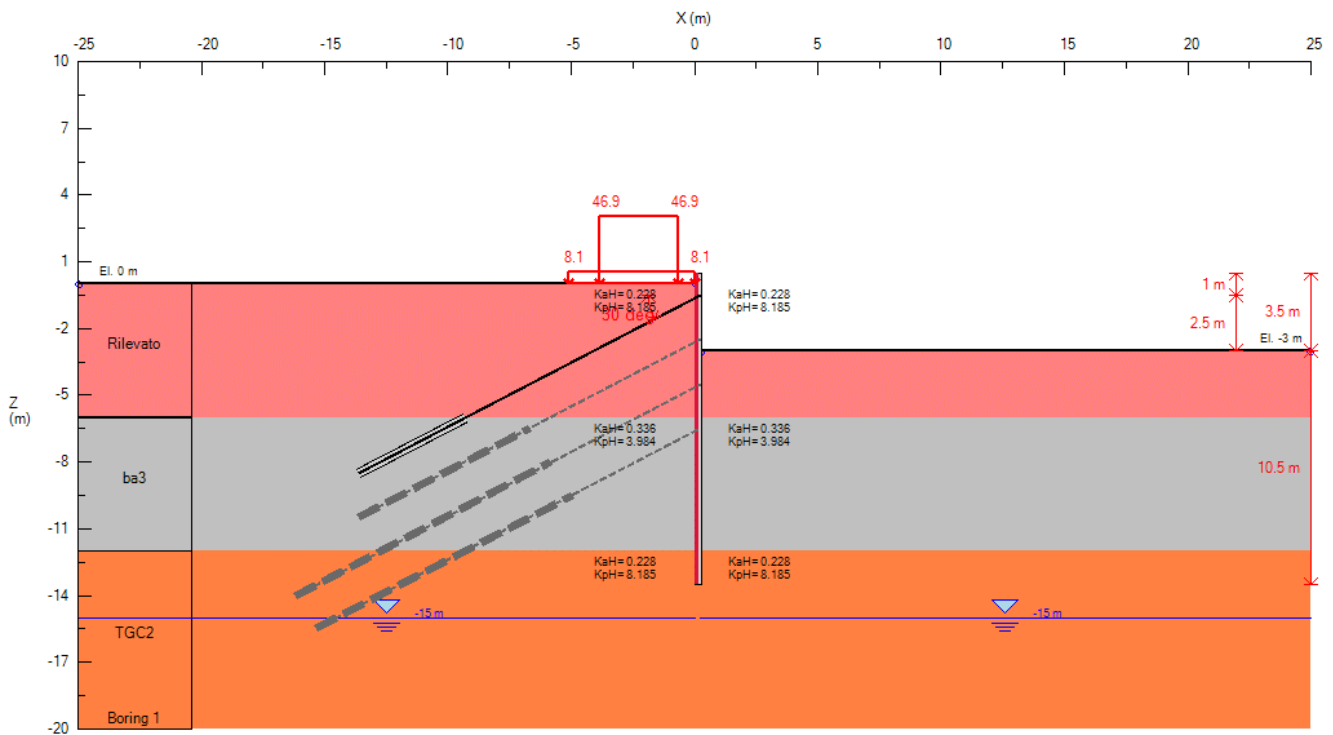


Figura 7: SPALLA 1 - STEP 3)

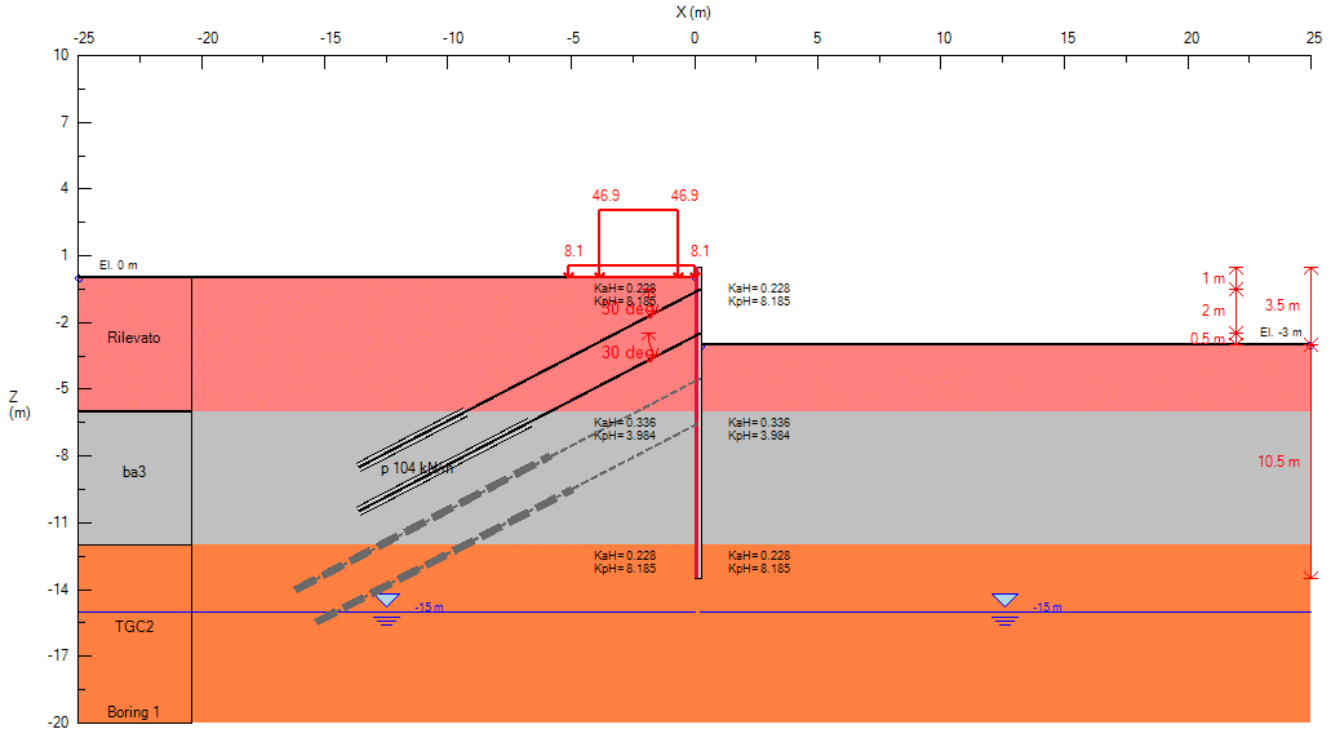


Figura 8: SPALLA 1 - STEP 4)

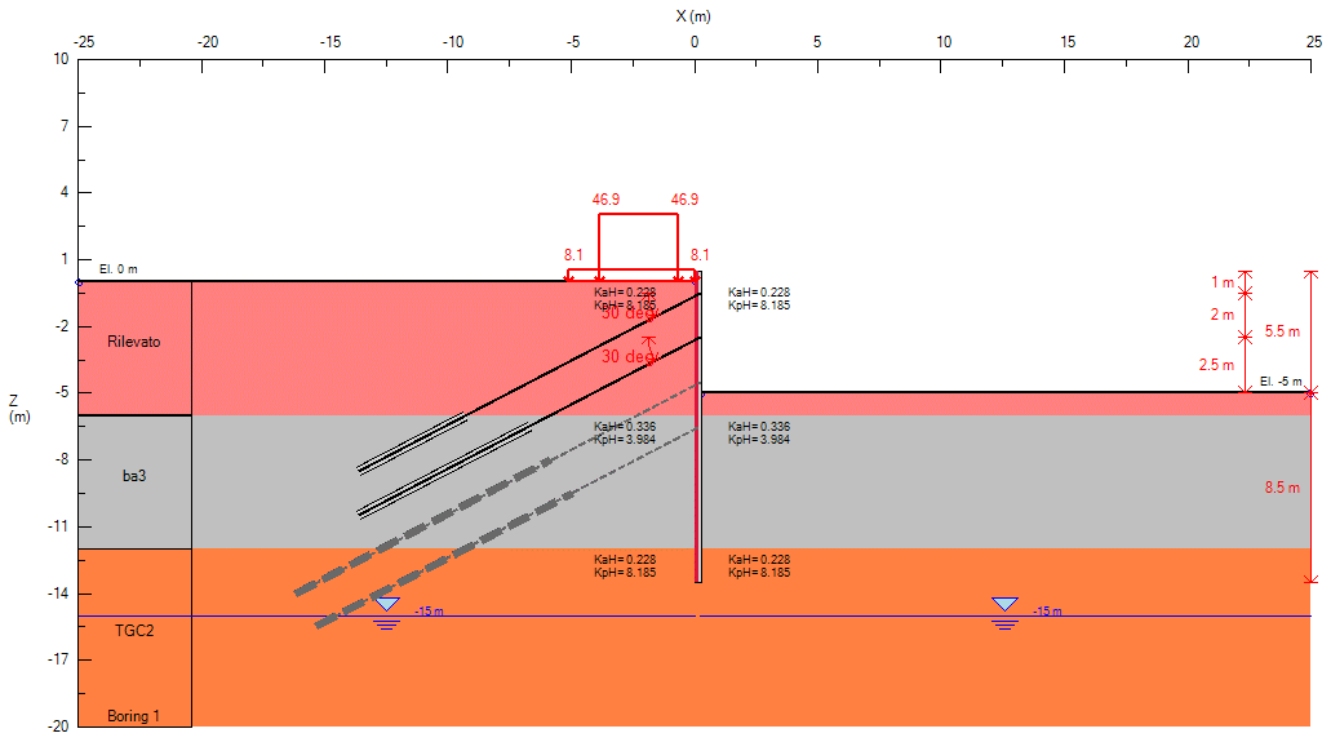


Figura 9: SPALLA 1 - STEP 5)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	24 di 63

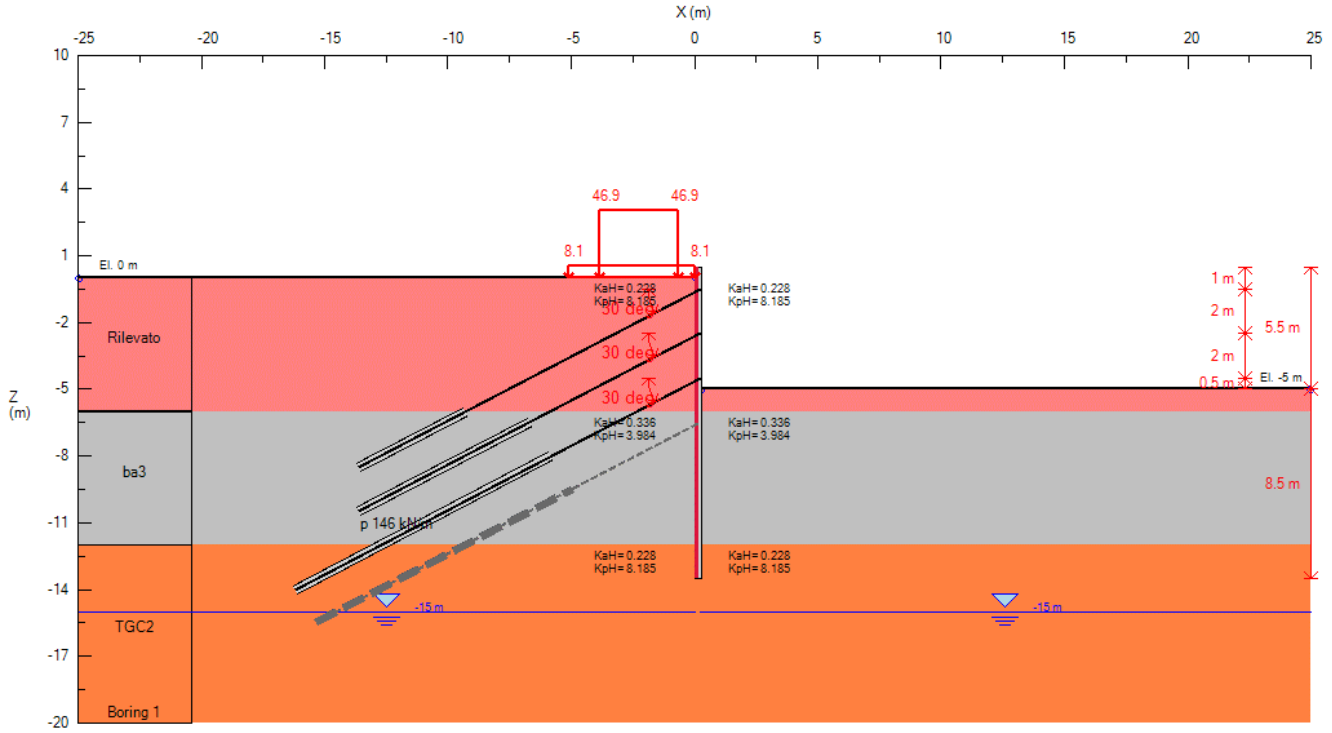


Figura 10: SPALLA 1 - STEP 6)

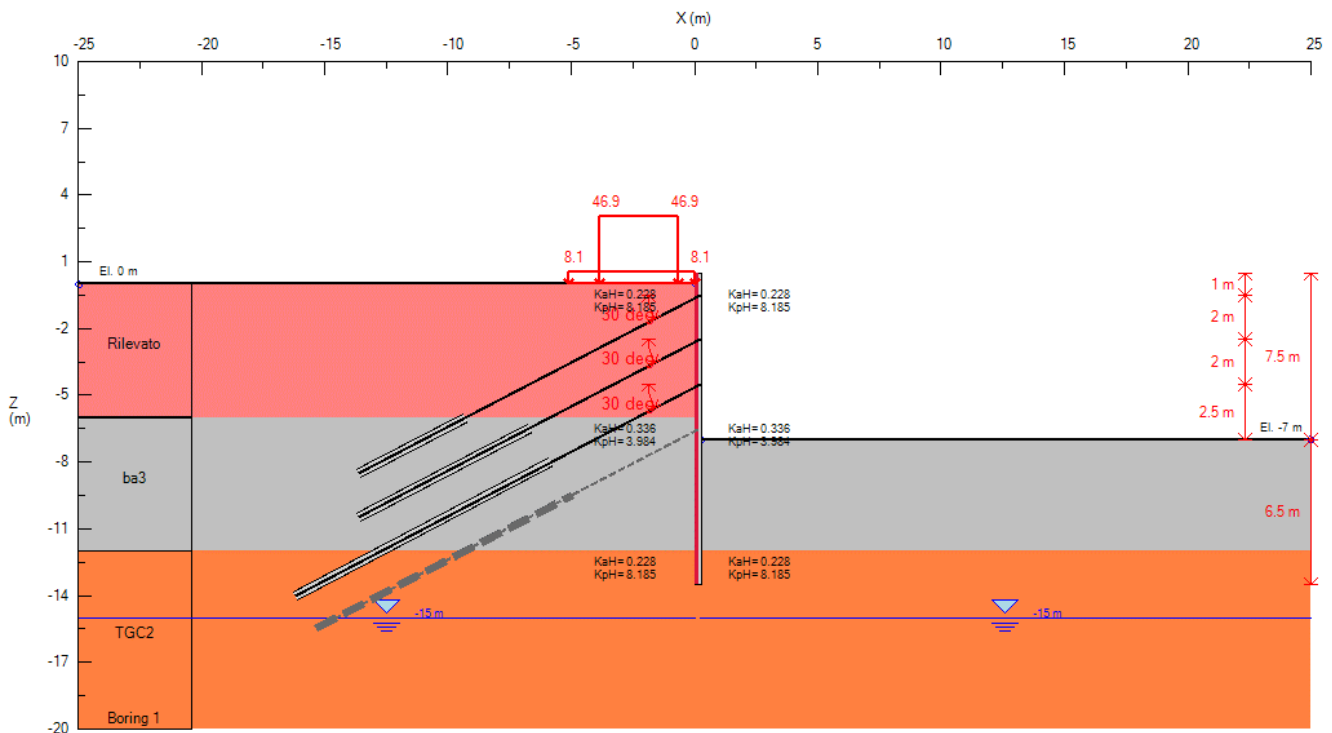


Figura 11: SPALLA 1 - STEP 7)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	26 di 63

5.3.2 SPALLA 2 – PILA 1

Come indicato al paragrafo precedente, a monte dell'opera si considera come carichi agenti:

- $q_{ballast} = 8.1 \text{ kN/m}^2$ carico uniformemente distribuito dovuto al peso della sovrastruttura ferroviaria
- $q_{sw2} = 46.9 \text{ kN/m}^2$ carico uniformemente distribuito dovuto al traffico ferroviario

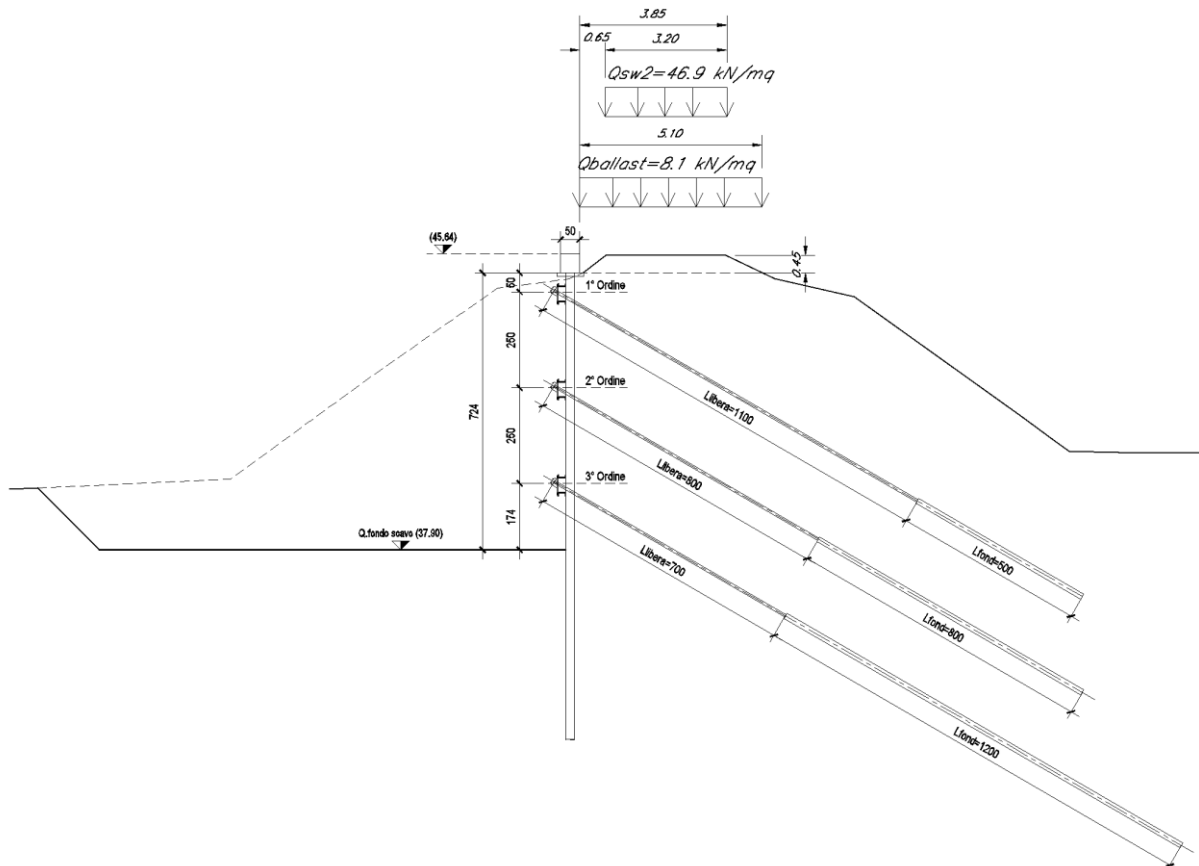


Figura 14: SPALLA 2_PILA 1 - Schema di calcolo

La fasi di calcolo risultano:

- STEP 0): Fase geostatica iniziale e realizzazione dei micropali della paratia; la falda è posta a -15.0m dalla testa dei micropali. Si considera agente il peso permanente della sovrastruttura ferroviaria.
- STEP 1): Scavo fino alla profondità di 1.0m dalla testa dei micropali. I carichi permanenti sono i medesimi della fase precedente. A monte si considera in aggiunta il carico variabile dovuto al traffico ferroviario.
- STEP 2): Realizzazione del 1° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 150 kN (62.5 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.
- STEP 3): Scavo fino alla profondità di 3.5 m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	27 di 63

STEP 4): Realizzazione del 2° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 250 kN (104 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.

STEP 5): Scavo fino alla massima profondità di 6.0m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

STEP 6): Realizzazione del 3° ordine di tiranti. Il pretiro dei tiranti è pari a 350 kN (146 kN/m considerando un interasse dei tiranti di 2.4m). I carichi permanenti e variabili sono i medesimi della fase precedente.

STEP 7): Scavo fino alla massima profondità di 7.25 m dalla testa dei micropali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

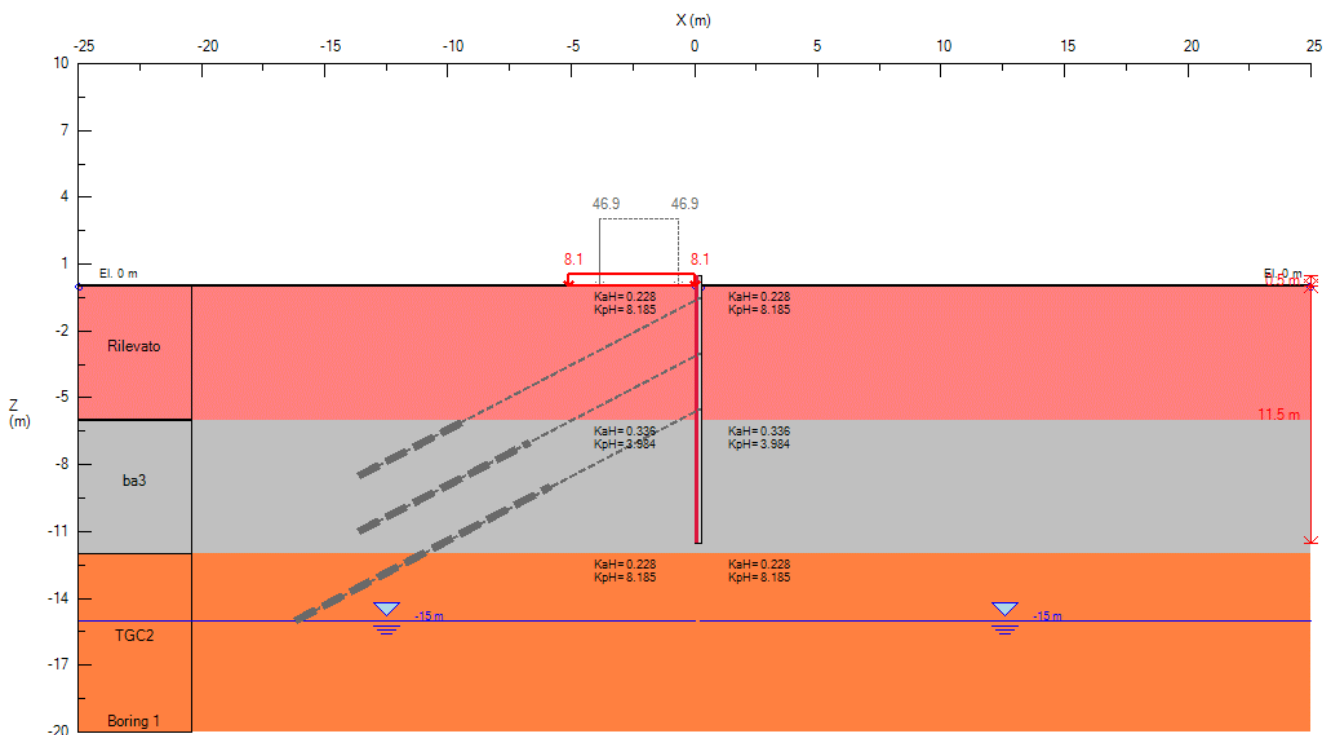


Figura 15: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 0)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	28 di 63

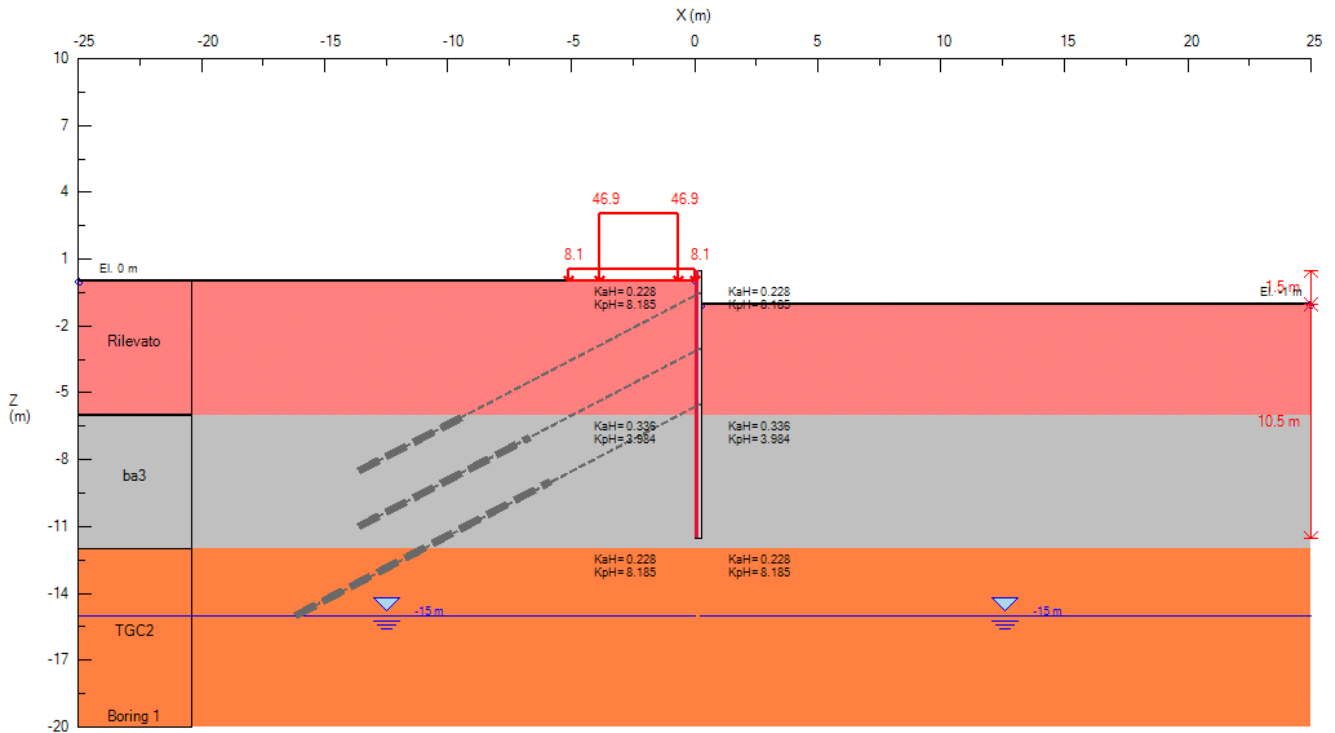


Figura 16: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 1)

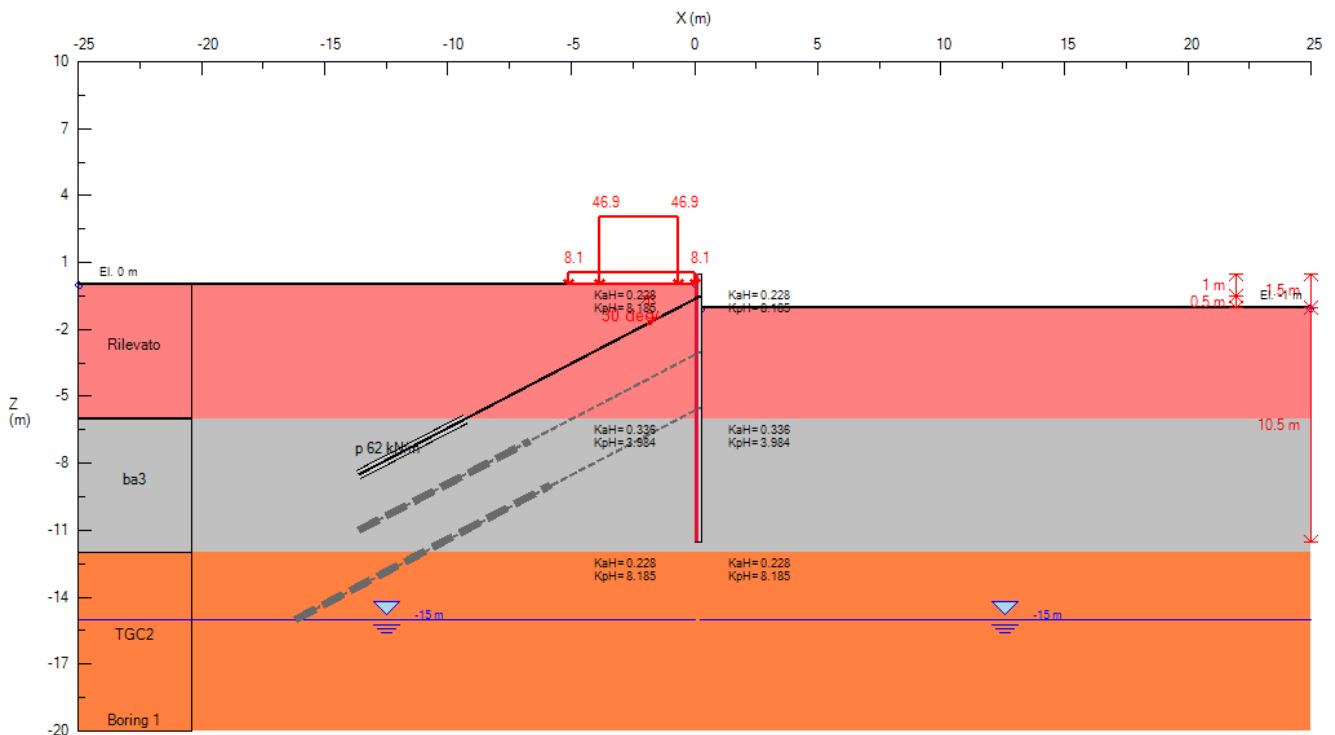


Figura 17: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 2)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	29 di 63

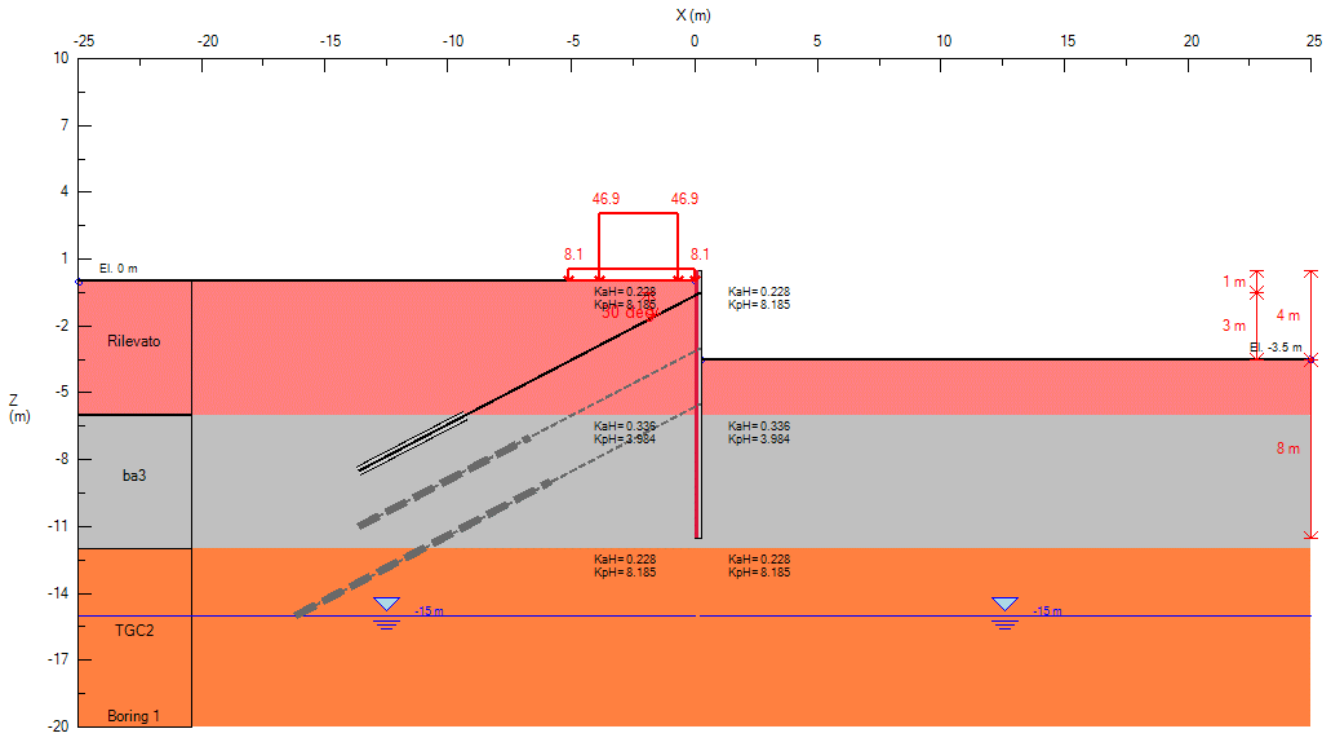


Figura 18: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 3)

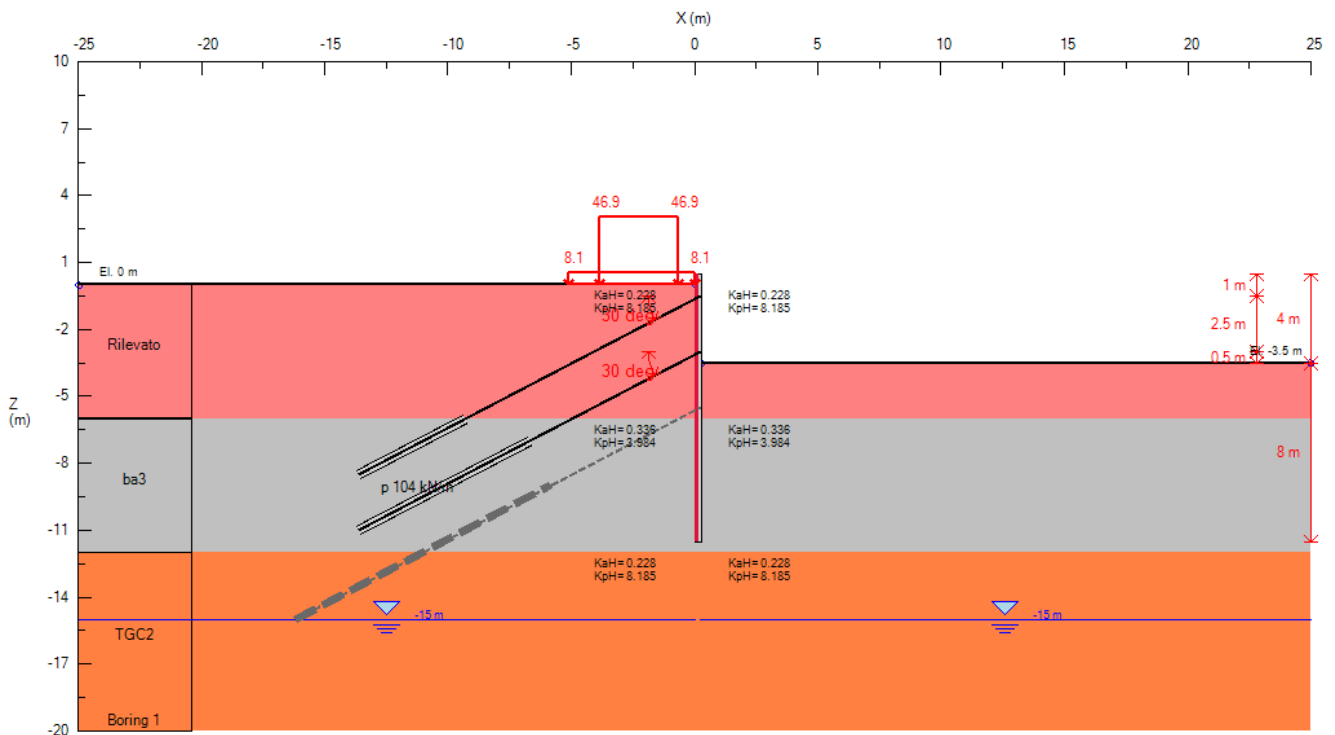


Figura 19: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 4)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	30 di 63

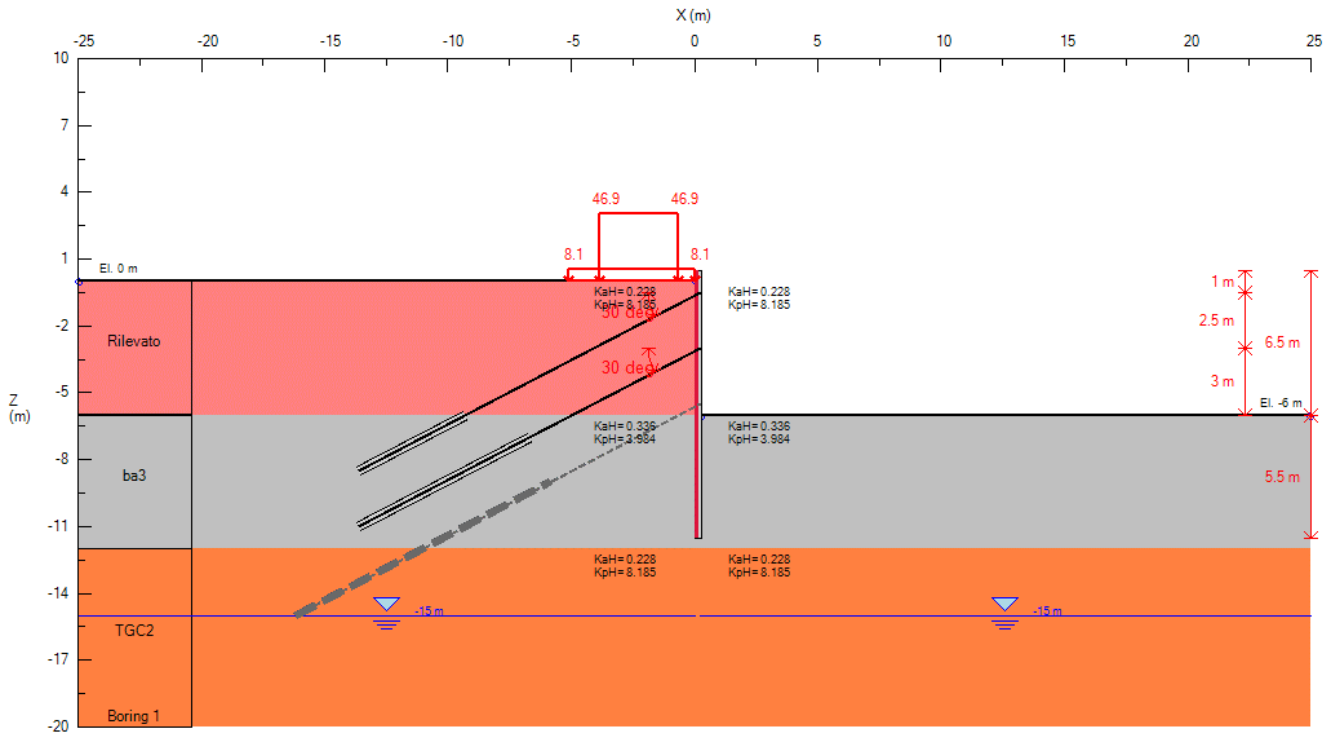


Figura 20: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 5)

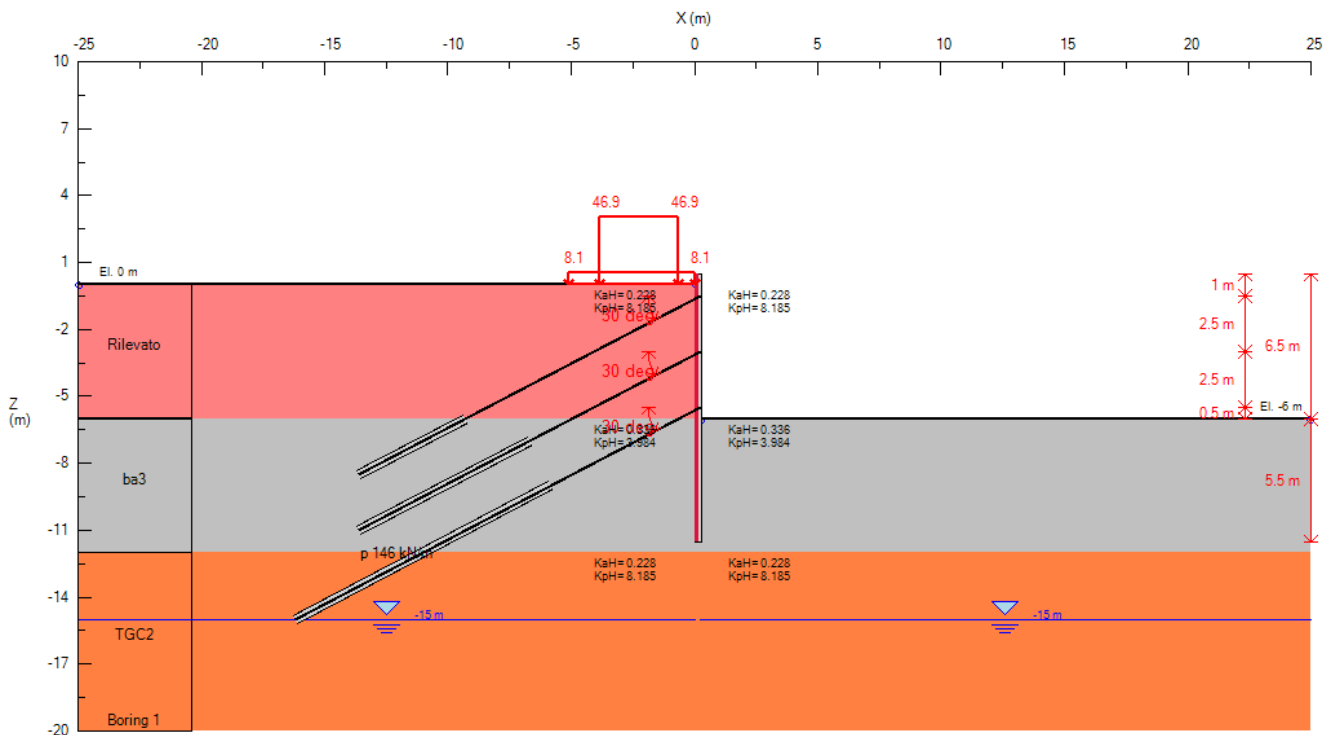


Figura 21: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 6)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	31 di 63

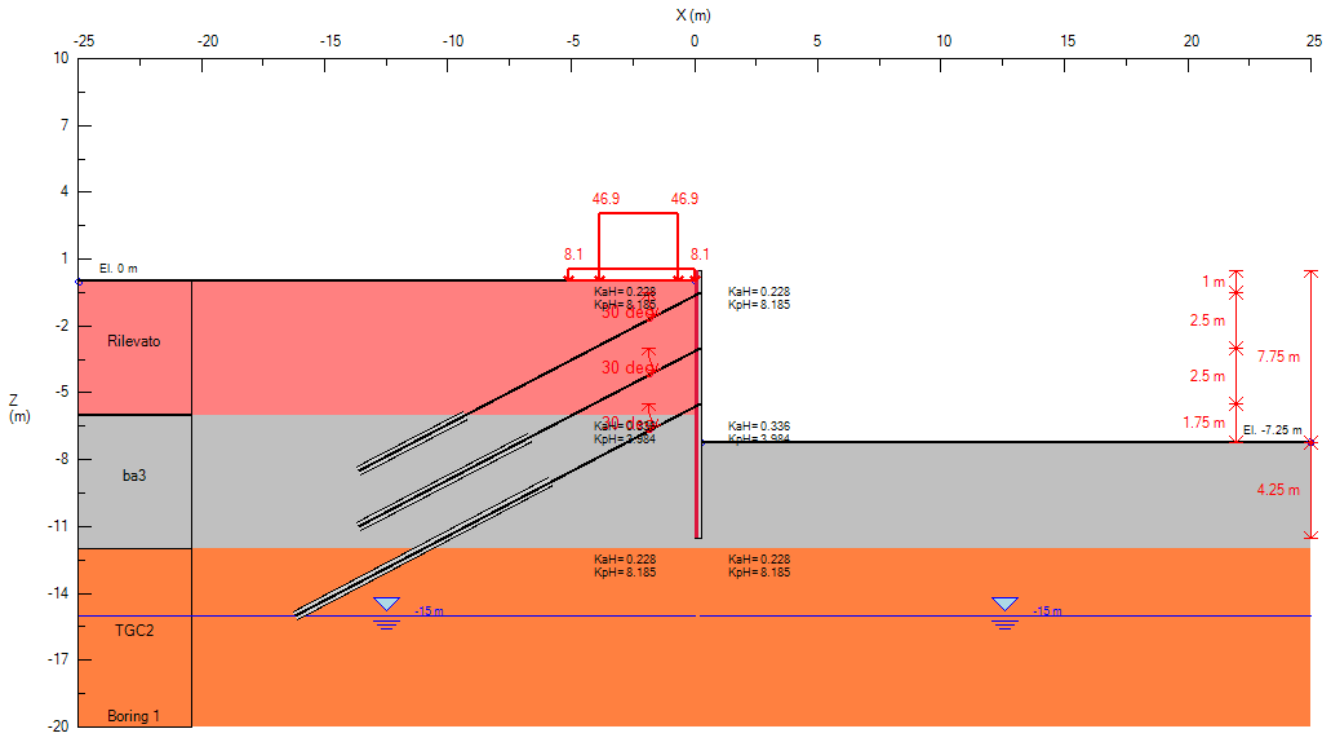


Figura 22: SPALLA 2_PILA 1 - STEP 7)

6 RISULTATI DELLE ANALISI

6.1 SPALLA 1

6.1.1 SOLLECITAZIONI AGENTI

Nelle tabelle che seguono si sintetizzano i risultati ottenuti nell'analisi. Nelle figure sono mostrati i relativi diagrammi.

MICROPALI	M_{max} (kNm/m)	M^*_{max} (kNm)	T_{max} (kN/m)	T^*_{max} (kN)
SLE_max	45.3	18.1	75.8	30.3
SLU (A1+M1+R1)_max	60.6	24.2	100.4	40.2

TIRANTI 1° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	62.7	150
SLU (A1+M1+R1)_max	81.5	196

TIRANTI 2° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	105.9	254
SLU (A1+M1+R1)_max	137.9	331

TIRANTI 3° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	154.2	370
SLU (A1+M1+R1)_max	201.3	483

TIRANTI 4° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	170.3	409
SLU (A1+M1+R1)_max	221.5	532

con:

M_{max} = sollecitazione massima di momento flettente al metro lineare di paratia;

M^*_{max} = sollecitazione massima di momento flettente sul singolo micropalo (considerando un interasse di 0.4 m);

T_{max} = sollecitazione massima di taglio al metro lineare di paratia;

T^*_{max} = sollecitazione massima di taglio sul singolo micropalo (considerando un interasse di 0.4 m).

Opere provvisoriale pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	33 di 63

R_{max} = reazione sui tiranti al metro lineare di paratia;

R^*_{max} = reazione sul singolo tirante (considerando un interasse di 2.4m).

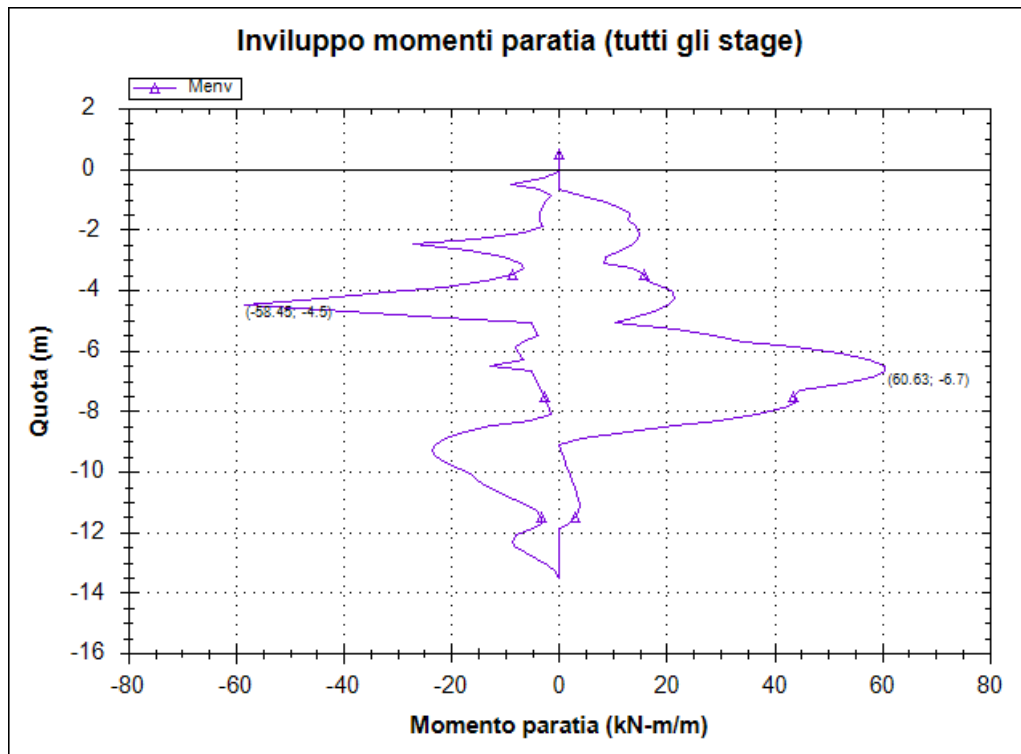


Figura 23: SPALLA 1 - Diagramma dell'involuppo del momento allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	34 di 63

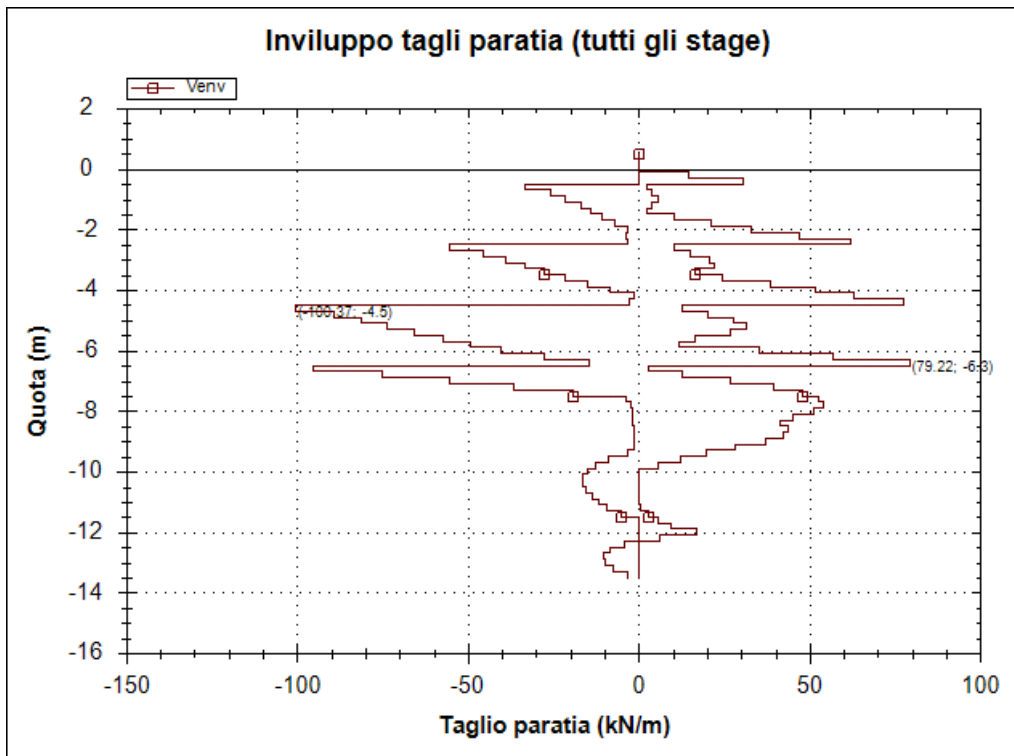


Figura 24: SPALLA 1 - Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLU (A1+M1+R1)

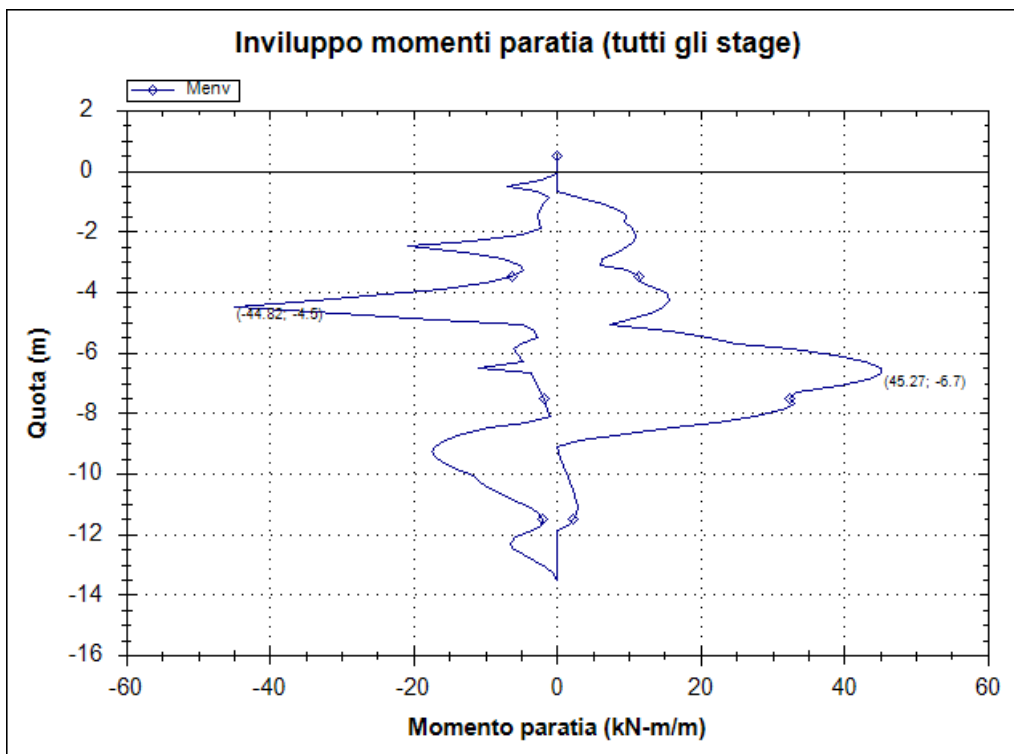


Figura 25: SPALLA 1 - Diagramma dell'involuppo del momento allo SLE

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	35 di 63

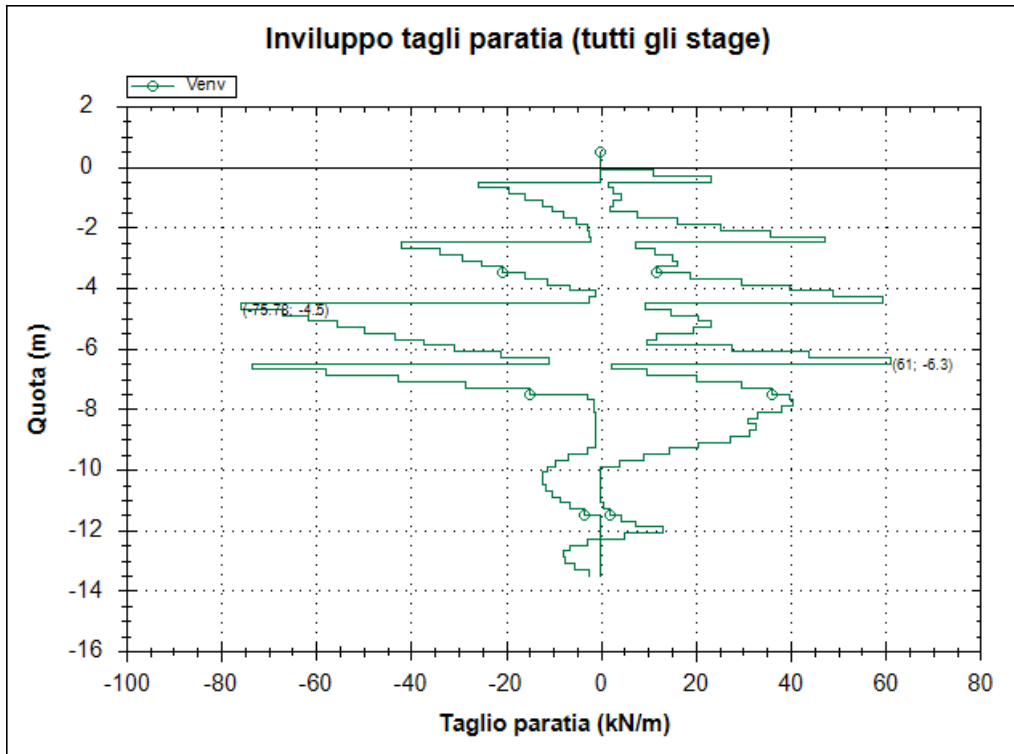


Figura 26: SPALLA 1 - Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLE

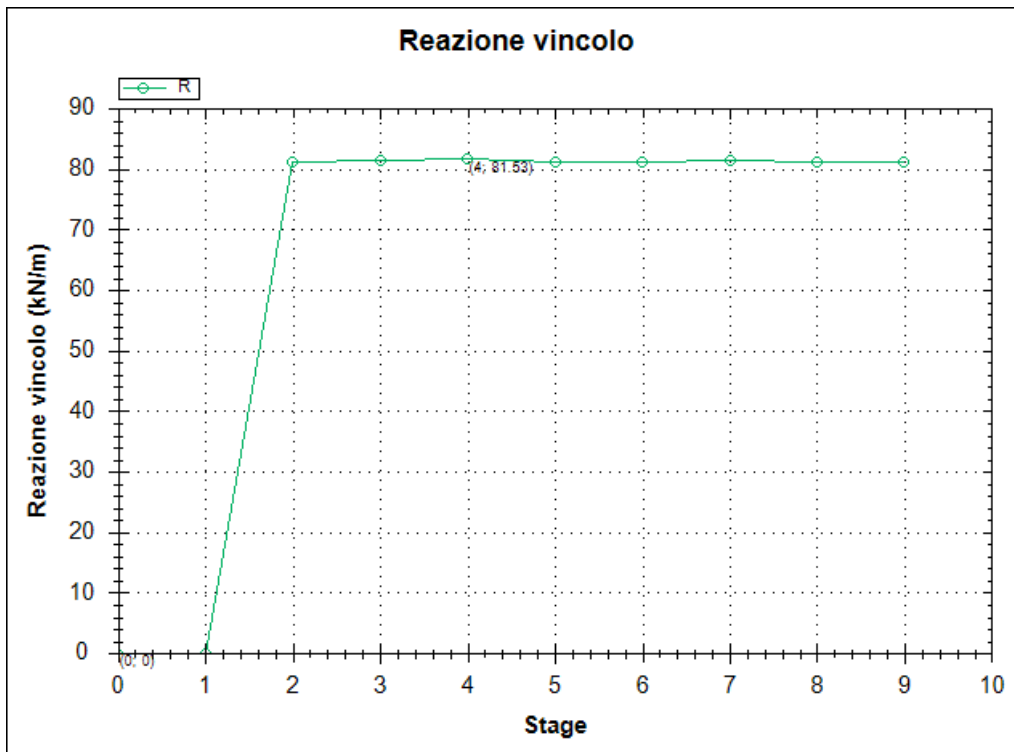


Figura 27: SPALLA 1 - Reazione 1° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	36 di 63

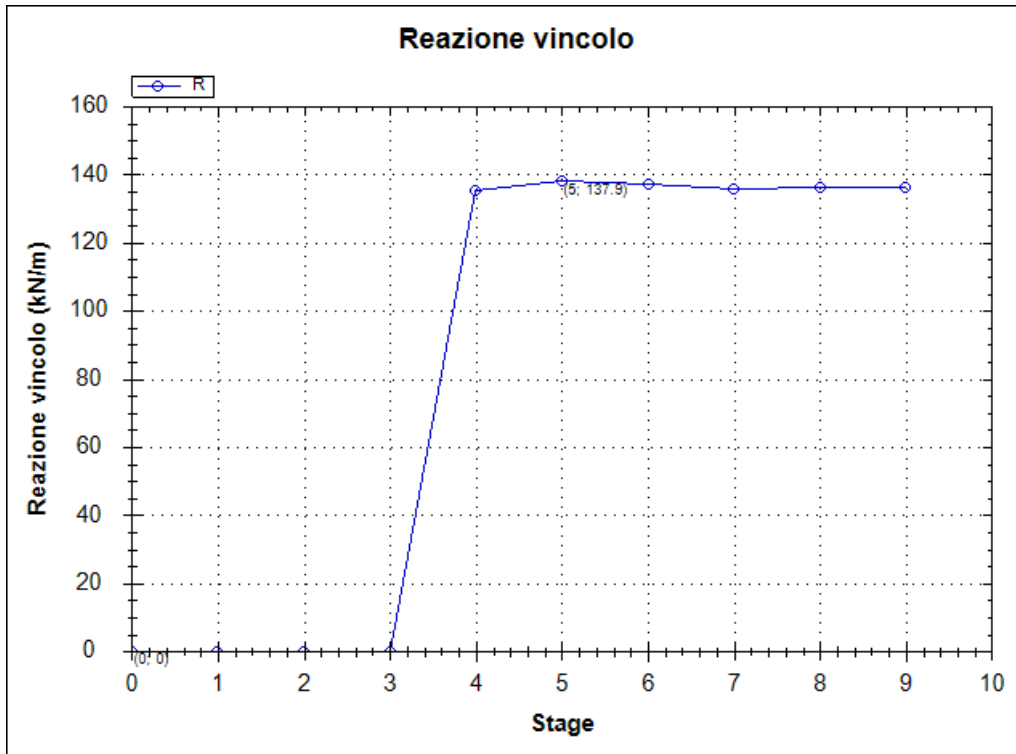


Figura 28: SPALLA 1 - Reazione 2° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

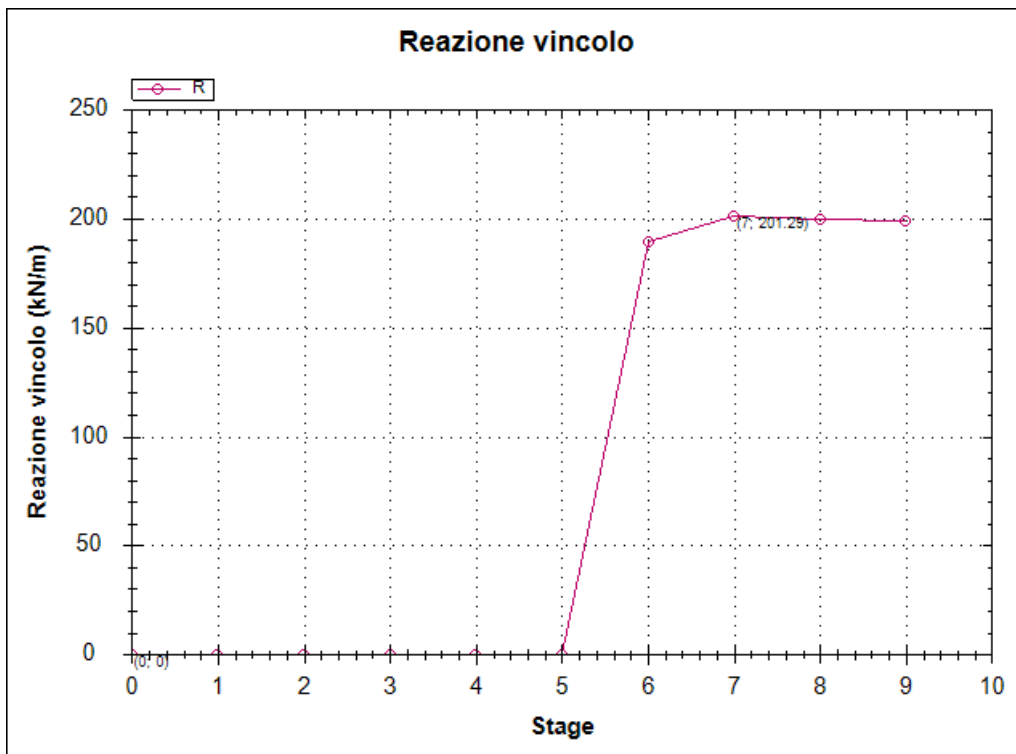


Figura 29: SPALLA 1 - Reazione 3° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	37 di 63

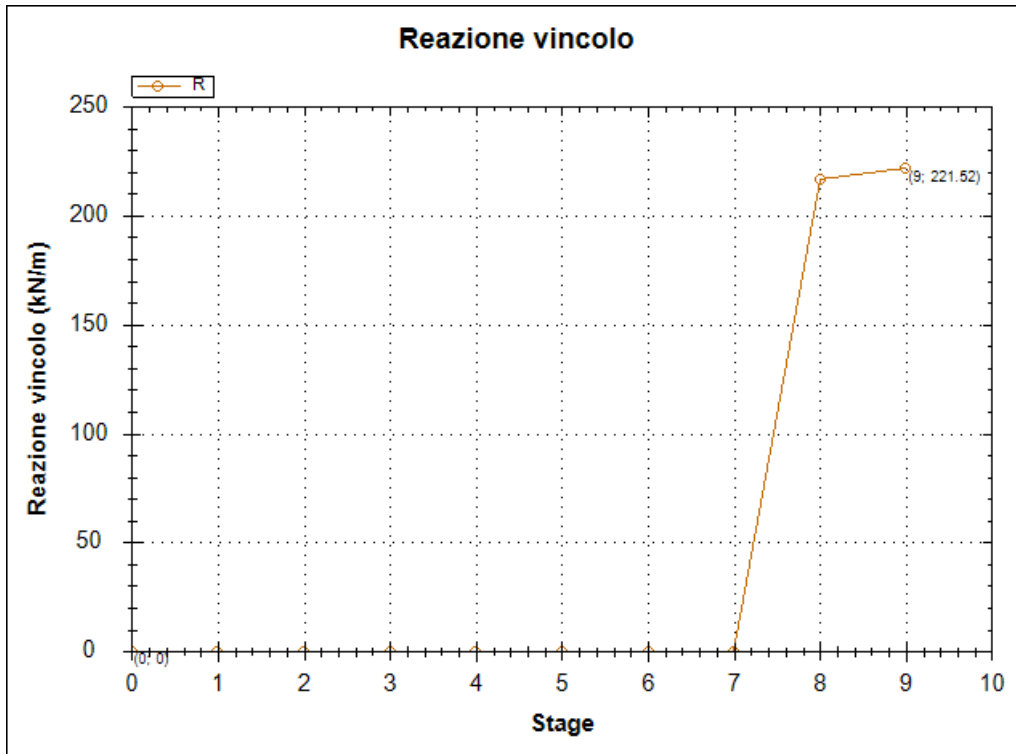


Figura 30: SPALLA 1 - Reazione 4° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

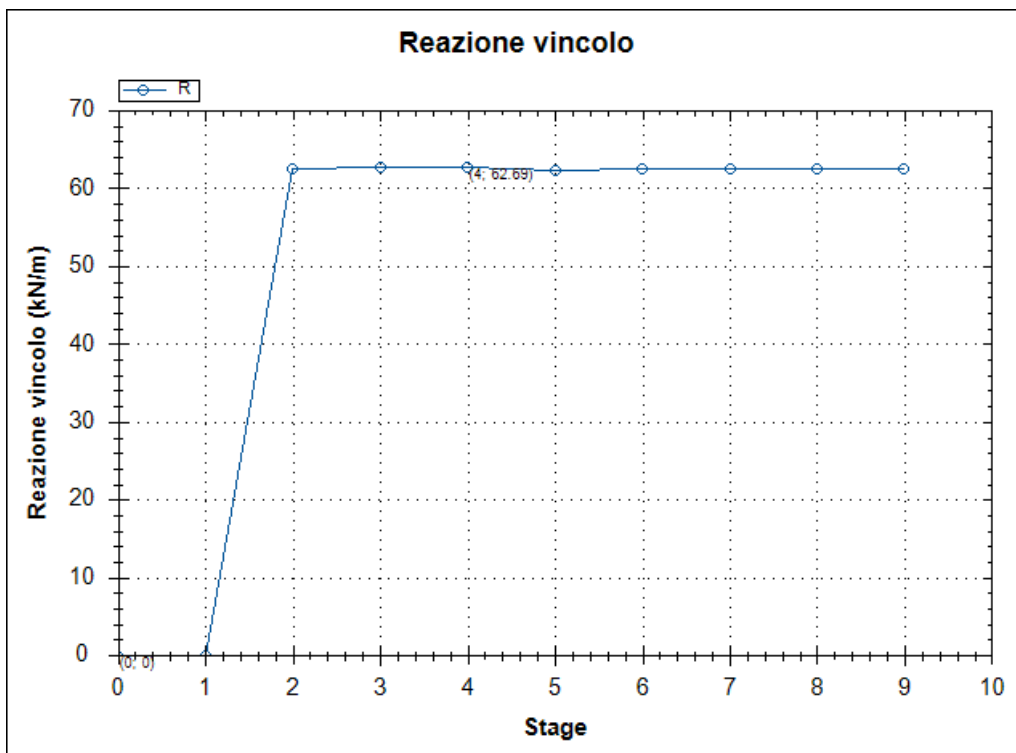


Figura 31: SPALLA 1 - Reazione 1° ordine tiranti allo SLE

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	38 di 63

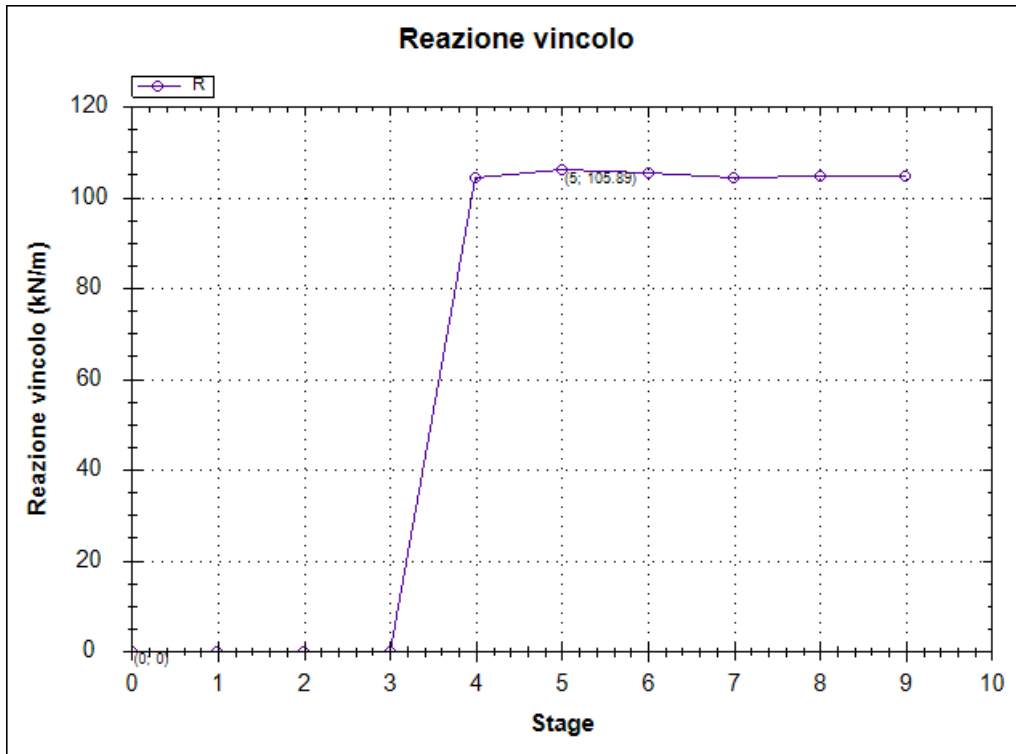


Figura 32: SPALLA 1 - Reazione 2° ordine tiranti allo SLE

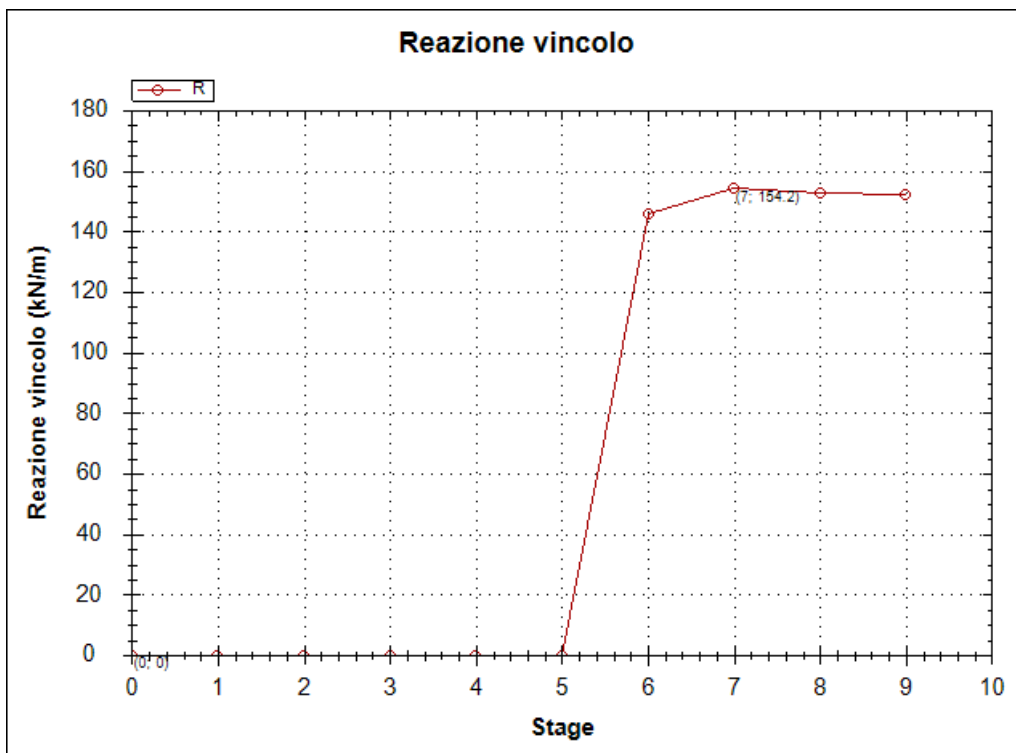


Figura 33: SPALLA 1 - Reazione 3° ordine tiranti allo SLE

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	39 di 63

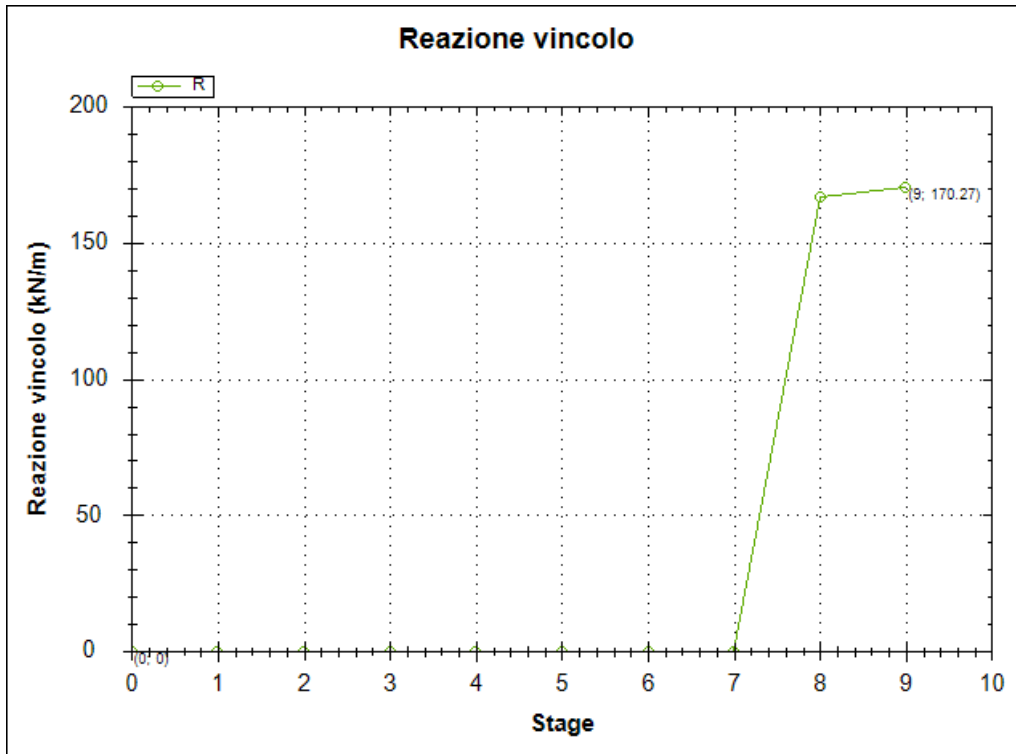


Figura 34: SPALLA 1 - Reazione 4° ordine tiranti allo SLE

Opere provvisoriale pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	40 di 63

6.1.2 VERIFICHE STRUTTURALI DEI MICROPALI

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei micropali verticali. Ai fini della resistenza, si prende in considerazione esclusivamente la presenza del tubo di armatura, trascurando il contributo della miscela cementizia.

Calcolo delle caratteristiche meccaniche dei profili tubolari e verifica secondo DM 2008

Diametro esterno nominale	D	168.30	[mm]
Spessore nominale	t	6.00	[mm]
Diametro interno nominale	d	156.30	[mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Area della sezione trasversale	A	30.6	[cm ²]
Momento d'inerzia	I	1009	[cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	5.74	[cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	120	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	158	[cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	2017	[cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	240	[cm ³]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f _{yk}	355	[MPa]
Coefficiente e	ε	0.81	[-]
Classificazione			
Diametro	d	168.30	[mm]
Spessore	t	6.00	[mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	28.05	[-]
Classificazione della sezione	CLASSE 1		

VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

V _{Ed}	40.2	[kN]		
A _v	19.5	[cm ²]	Area a taglio	
γ _{M0}	1.05			
V _{c,Rd}	380	[kN]	Resistenza a taglio del tubo	FS = 9.47

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}]$$

VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE

M _{Ed}	24.2	[kNm]		
M _{c,Rd,pl}	53	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo (W _{pl,yy})	FS = 2.21
M _{c,Rd,el}	41	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo (W _{el,yy})	FS = 1.67

VERIFICHE TENSIONALI - SLE

V _{SLE}	30.3	[kN]	τ	16	[MPa]	
M _{SLE}	18.1	[kNm]	σ _M	151	[MPa]	
N _{SLE}	0	[kN]	σ _N	0	[MPa]	
			σ _{TOT}	154	[MPa]	ok

Le verifiche a flessione e taglio del micropalo risultano soddisfatte.

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	41 di 63

6.1.3 VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO

Il cordolo della paratia presenta dimensioni BxH=0.5x0.5m ed è armato con barre longitudinali Ø12 e staffe trasversali Ø10/20cm. La verifica strutturale del cordolo può essere omessa in quanto, non essendo la paratia vincolata in testa, le sollecitazioni flettenti e di taglio sul cordolo sono trascurabili.

6.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DEI TIRANTI E DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE

Si riportano a seguire le verifiche di carattere strutturale effettuate sui tiranti di ancoraggio e sulle relative travi di ripartizione. Queste ultime risultano costituite da 2 profili UPN200 accoppiati; in corrispondenza della testata dei tiranti sono presenti 2 piastre di ripartizione di dimensioni 350x450x40mm e 450x570x40mm. Per i dettagli si rimanda ai relativi elaborati grafici.

Ordine	Caratteristiche Geometriche Tiranti							Caratteristiche trefoli e pretensione tiranti					Carichi di progetto				
	Quota da testa pali (m)	i (m)	α (°)	L_{libera} (m)	L_{fond} (m)	L_{tot} (m)	d_{perif} (m)	A_{tref} (mm ²)	$f_{p(1)k}$ (MPa)	n_{tref} (-)	N_0 (kN)	N_{max_SLU} (kN/m)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	N_{max_SLE} (kN/m)	$N^*_{max_SLE}$ (kN)	N_c (kN)	
1	0.5	2.4	30	11	5	16	0.18	139	1670	3	150	81.5	196	62.7	150	181	
2	2.5	2.4	30	8	8	16	0.18	139	1670	3	250	137.9	331	105.9	254	305	
3	4.5	2.4	30	7	12	19	0.18	139	1670	4	350	201.3	483	154.2	370	444	
4	6.5	2.4	30	6	12	18	0.18	139	1670	4	400	221.5	532	170.3	409	490	

i = interasse tirante
 α = angolo d'inclinazione tirante sull'orizzontale
 L_{libera} = lunghezza libera tirante
 L_{fond} = lunghezza bulbo di fondazione tirante
 L_{tot} = lunghezza totale tirante
 d_{perif} = diametro perforazione tirante
 A_{tref} = area singolo trefolo
 $f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua
 n_{tref} = numero di trefoli tirante
 N_0 = pretensione iniziale alla messa in opera
 N_{max_SLU} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU
 $N^*_{max_SLU}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLU
 N_{max_SLE} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLE
 $N^*_{max_SLE}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLE
 N_c = carico totale di collaudo singolo tirante ($1.2 \times N^*_{max_SLE}$)

Ordine	Verifica strutturale trefoli							Gerarchia delle resistenze			
	A_{tref} (mm ²)	$f_{p(1)k}$ (MPa)	n_{tref} (-)	γ_s	N_{yk} (kN)	N_{yd} (kN)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	FS	N_{yk} (kN)	N_{rb} (kN)	$N_{yk} > N_{rb}$
1	139	1670	3	1.15	696	606	196	3.10	696	247	ok
2	139	1670	3	1.15	696	606	331	1.83	696	395	ok
3	139	1670	4	1.15	929	807	483	1.67	929	592	ok
4	139	1670	4	1.15	929	807	532	1.52	929	790	ok

A_{tref} = area singolo trefolo
 n_{tref} = numero di trefoli tirante
 $f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua
 γ_s = coefficiente parziale sicurezza per verifica acciaio tiranti
 N_{yk} = carico limite strutturale caratteristico del tirante
 N_{yd} = carico limite strutturale di progetto del tirante
 N_{rb} = resistenza a sfilamento di progetto del tirante

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	42 di 63

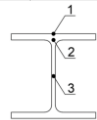
Verifica trave di ripartizione

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{MO}	N_{max_SLU} (kN/m)	L (m)	M_{ed_SLU} (kNm)	V_{ed_SLU} (kN)	n_p (-)	$M_{ed_SLU_p}$ (kNm)	$V_{ed_SLU_p}$ (kN)	Profilo	$V_{c,Rd}$ (kN)	$\rho = [2V_{ed}/V_{c,Rd} \cdot 1]^2$	$V_{ed}/V_{c,Rd}$	$M_{pl,Rd}$ (kNm)	$M_{y,V,Rd}$ (kNm)	FS
1	355	1.05	81.5	2.4	47	117	2	23	59	UPN200	346	0.44	0.17	77	63	2.70
2	355	1.05	137.9	2.4	79	199	2	40	99	UPN200	346	0.18	0.29	77	71	1.80
3	355	1.05	201.3	2.4	116	290	2	58	145	UPN200	346	0.03	0.42	77	76	1.32
4	355	1.05	221.5	2.4	128	319	2	64	159	UPN200	346	0.01	0.46	77	77	1.21

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{MO}	N_{max_SLE} (kN/m)	L (m)	M_{ed_SLE} (kNm)	V_{ed_SLE} (kN)	n_p (-)	$M_{ed_SLE_p}$ (kNm)	$V_{ed_SLE_p}$ (kN)	Profilo	σ_1 (Mpa)	τ_3 (Mpa)	σ_2 (Mpa)	τ_2 (Mpa)	σ_{id} (Mpa)
1	355	1.05	62.7	2.4	36	90	2	18	45	UPN200	95	32	84	23	92
2	355	1.05	105.9	2.4	61	152	2	30	76	UPN200	160	54	141	38	156
3	355	1.05	154.2	2.4	89	222	2	44	111	UPN200	233	78	206	56	227
4	355	1.05	170.3	2.4	98	245	2	49	123	UPN200	257	87	227	61	251

	h (mm)	b (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	r (mm)	A (cm ²)	W_{el} (cm ³)	W_{pl} (cm ³)	A_{yz} (cm ²)	I_y (cm ⁴)
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910

f_{yk} =	tensione di snervamento dell'acciaio della trave di ripartizione	M_{ed_SLE} =	momento agente sulla trave di ripartizione allo SLE
γ_{MO} =	coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio	V_{ed_SLE} =	taglio agente sulla trave di ripartizione allo SLE
N_{max_SLU} =	carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU	$M_{ed_SLE_p}$ =	momento agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLE
L =	luce di calcolo	$V_{ed_SLE_p}$ =	taglio agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLE
M_{ed_SLU} =	momento agente sulla trave di ripartizione allo SLU	σ_1 =	tensione normale nel punto 1
V_{ed_SLU} =	taglio agente sulla trave di ripartizione allo SLU	τ_3 =	tensione tangenziale nel punto 3
n_p =	numero di profili sulla trave di ripartizione	σ_2 =	tensione normale nel punto 2
$M_{ed_SLU_p}$ =	momento agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLU	τ_2 =	tensione tangenziale nel punto 2
$V_{ed_SLU_p}$ =	taglio agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLU	$\sigma_{id} = (\sigma_2^2 + 3\tau_2^2)^{0.5}$	tensione ideale
$V_{c,Rd}$ =	taglio resistente del singolo profilo della trave di ripartizione		
r =	coefficiente di cui all'espressione 4.2.32 del DM 14/01/2008		
$M_{pl,Rd}$ =	resistenza di calcolo a flessione del singolo profilo della trave di ripartizione		
$M_{y,V,Rd}$ =	resistenza convenzione di calcolo a flessione retta per sezioni soggette a flessione e taglio nel piano dell'anima		



Verifica piastra di ripartizione 350x450x40mm

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{MO}	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	i_{frazz} (m)	p (kN/m)	M_{ed_SLU} (kNm)	V_{ed_SLU} (kN)	ϕ_{foro} (mm)	b (mm)	b' (mm)	h (mm)	W (mm ³)	σ_1 (MPa)	τ_3 (MPa)	σ_{id} (MPa)	FS
1	355	1.05	196	0.25	782	6.1	97.8	135	350	215	40	57333	107	11	108	3.12
2	355	1.05	331	0.25	1324	10.3	165.48	135	350	215	40	57333	180	19	183	1.84
3	355	1.05	483	0.25	1932	15.1	241.56	135	350	215	40	57333	263	28	268	1.26
4	355	1.05	532	0.25	2126	16.6	265.8	135	350	215	40	57333	290	31	295	1.15

Verifica piastra di ripartizione 450x570x40mm

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{MO}	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	i_{frazz} (m)	p (kN/m)	M_{ed_SLU} (kNm)	V_{ed_SLU} (kN)	ϕ_{foro} (mm)	b (mm)	b' (mm)	h (mm)	W (mm ³)	σ_1 (MPa)	τ_3 (MPa)	σ_{id} (MPa)	FS
1	355	1.05	196	0.3905	501	9.5	97.8	185	570	385	40	102667	93	6	94	3.61
2	355	1.05	331	0.3905	848	16.2	165.48	185	570	385	40	102667	157	11	158	2.13
3	355	1.05	483	0.3905	1237	23.6	241.56	185	570	385	40	102667	230	16	231	1.46
4	355	1.05	532	0.3905	1361	25.9	265.8	185	570	385	40	102667	253	17	255	1.33

f_{yk} =	tensione di snervamento dell'acciaio della trave di ripartizione	M_{ed_SLU} =	momento agente sulla piastra di ripartizione allo SLU
γ_{MO} =	coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio	V_{ed_SLU} =	taglio agente sulla piastra di ripartizione allo SLU
$N^*_{max_SLU}$ =	carico massimo sul singolo tirante allo SLU	ϕ_{foro} =	diametro foro della piastra
i_{frazz} =	interasse fazzoletti	b =	larghezza piastra
p =	carico al metro lineare	b' =	larghezza piastra al netto del foro
M_{ed_SLU} =	momento agente sulla piastra di ripartizione allo SLU	h =	spessore piastra
V_{ed_SLU} =	taglio agente sulla piastra di ripartizione allo SLU	W =	modulo di resistenza della sezione netta della piastra
σ_1 =	tensione normale nella piastra	σ_1 =	tensione normale nella piastra
τ_3 =	tensione tangenziale nella piastra	τ_3 =	tensione tangenziale nella piastra
σ_{id} =	tensione ideale nella piastra	σ_{id} =	tensione ideale nella piastra

Le verifiche risultano sempre soddisfatte

6.1.5 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R1).

Nella tabella che segue si mostrano i risultati delle analisi per l'approccio di calcolo considerato. La verifica risulta soddisfatta se la spinta passiva massima mobilizzabile risulta superiore alla spinta passiva massima mobilitata.

STEP 2	SLU (statica)
	(A2+M2+R1)
Spinta passiva massima mobilizzabile	492
Spinta passiva mobilitata	211
FS % passiva mobilitata	2.33

avendo posto:

- **FS % passiva mobilitata:** rapporto tra la spinta passiva e la spinta effettivamente mobilitata a valle.

ooooo

La verifica di stabilità globale della paratia è stata condotta ai sensi del DM 2008 nella configurazione di coefficienti parziali (A2+M2+R2). Il coefficiente di sicurezza risulta pari a 2.15 e quindi superiore al minimo richiesto (pari a 1.1); la verifica risulta soddisfatta.

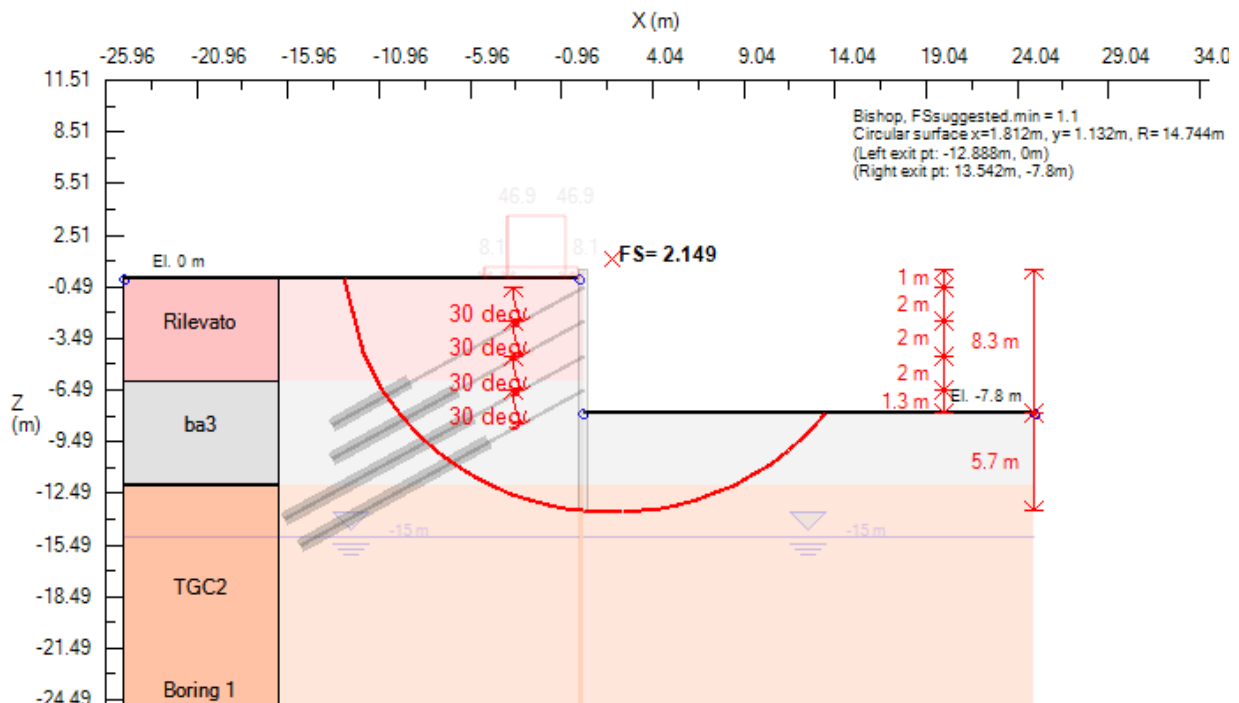


Figura 35: SPALLA 1 – Verifica di stabilità globale allo SLU (A2+M2+R2)

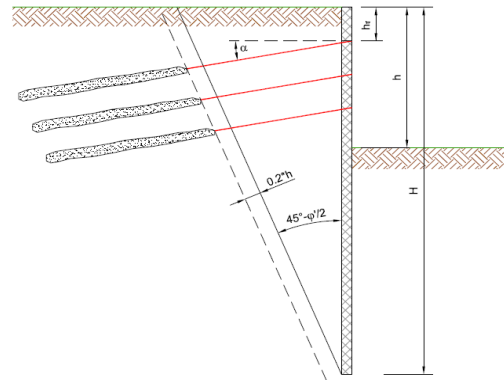
6.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DEI TIRANTI

Si riporta di seguito il dimensionamento del tratto libero della paratia.

La lunghezza del tratto libero dei tiranti risulta essere pari a 11.0 m (1° ordine), 8.0 m (2° ordine), 7.0 m (3° ordine) e 6.0 m (4° ordine). In tutti i casi risulta essere superiore al valore minimo riportato di seguito.

CALCOLO DELLA LUNGHEZZA LIBERA DEL TIRANTE DI UNA PARATIA

H =	14	(m)	altezza totale della paratia
h _{t1} =	1	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 1
h _{t2} =	3	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 2
h _{t3} =	5	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 3
h _{t4} =	7	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 4
h _{t5} =		(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 5
h _{t6} =		(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 6
φ'	26	(°)	angolo di resistenza al taglio del terreno spingente
α	30	(°)	angolo di inclinazione dei tiranti
h	9	(m)	altezza fuori scavo
h'	1.80	(m)	incremento di sicurezza per la lunghezza libera = 0.2*h



Condizioni statiche

L _{t1}	L _{t2}	L _{t3}	L _{t4}	L _{t5}	L _{t6}
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
8.7	7.6	6.6	5.51		

$$L_{ti} = h' + (H - h_{ti}) \cdot \frac{\sin(45 - \varphi/2)}{\cos(45 - \frac{\varphi}{2} - \alpha)}$$

Per la verifica a sfilamento dei tiranti è stato assunto un valore di aderenza terreno bulbo ricavato dagli Abachi di *Bustamante e Doix (1985)* relativi a terreni incoerenti e alla tecnologia di iniezione del tipo I.R.S. (iniezioni selettive e ripetute).

In particolare i bulbi di fondazione dei tiranti ricadono all'interno delle seguenti formazioni:

- unità ba3 (argille limose);
- unità TGC2 (cenere sabbioso, sabbioso limosa).

Per tutti gli ordini di tiranti si fa quindi riferimento alle curve SG1 e AL1, relative ad iniezioni I.R.S..

Per ciò che riguarda i primi 3 ordini, si considera la presenza della sola unità ba3; per ciò che riguarda invece il quarto ordine, sulla base della stratigrafia del sottosuolo, è possibile assegnare per metà lunghezza del bulbo di fondazione l'unità ba3 e per l'altra metà l'unità TGC2. In questo caso si assumerà, quindi, un valore di adesione medio tra quelli caratteristici delle due formazioni (pari a 160 kPa, come indicano di seguito).

In funzione del numero di colpi N_{SPT} per le due formazioni si ha dunque:

- ba3 (N_{SPT}=5-15) - Si assume q_s=120 kPa
- TGC2 (N_{SPT}=7-46) - Si assume q_s=200 kPa

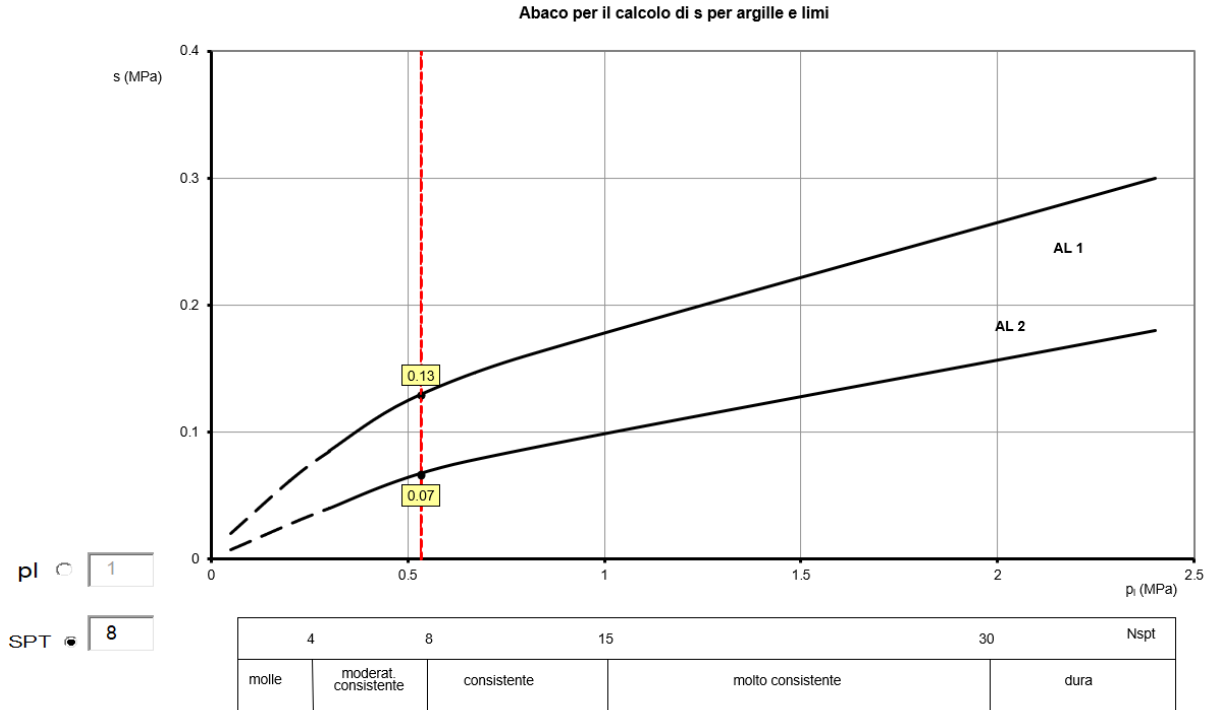


Figura 36: SPALLA 1 - Diagramma di Bustamente e Doix (1985) per argille e limi (unità ba3)

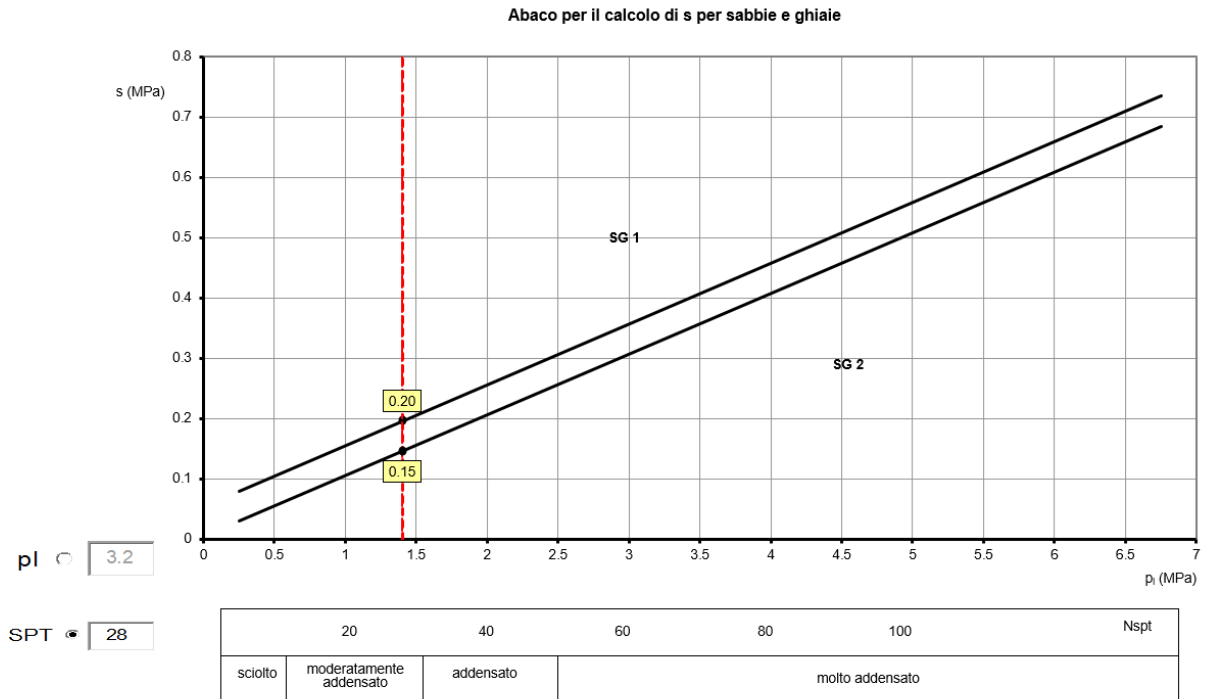


Figura 37: SPALLA 1 - Diagramma di Bustamente e Doix (1985) per terreni granulari (unità TGC2)

Indicazioni per la scelta di s

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
limo e argilla	AL1	AL2
marna, calcare marnoso, calcare tenero	MC1	MC2
roccia alterata e/o fratturata	>=R1	>=R2

Figura 38: SPALLA 1 - Bustamente e Doix (1985) valori di adesione laterale

Per quanto riguarda il Coefficiente amplificativo α i valori tipici sono riportati nella tabella seguente:

Valori del coefficiente α

Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1.8	1,3 - 1,4	1,5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 Vs
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 Vs
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2) Vs; IGU: 1,5 Vs
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2 Vs; IGU: 1,5 Vs
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3) Vs; IGU: (1,5 - 2) Vs
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2) Vs per strati compatti
Calcarei marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6) Vs per strati fratturati
Calcarei 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

Figura 39: SPALLA 1 - Bustamente e Doix (1985) valori del coefficiente α

Nel caso in esame si assume:

$\alpha = 1.40$ all'interno dell'unità ba3;

$\alpha = 1.40$ all'interno dell'unità TGC2.

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

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	47 di 63

Nella tabella che segue si mostrano i risultati della verifiche a sfilamento per ognuno degli ordini di tiranti.

Caratteristiche Geometriche Tiranti							Caratteristiche trefoli e pretensione tiranti					Carichi di progetto				
Ordine	Quota da testa pali (m)	i (m)	α (°)	L_{libera} (m)	L_{fond} (m)	L_{tot} (m)	d_{perf} (m)	A_{tref} (mm ²)	$f_{p(t)k}$ (MPa)	n_{tref} (-)	N_0 (kN)	N_{max_SLU} (kN/m)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	N_{max_SLE} (kN/m)	$N^*_{max_SLE}$ (kN)	N_c (kN)
1	0.5	2.4	30	11	5	16	0.18	139	1670	3	150	81.5	196	62.7	150	181
2	2.5	2.4	30	8	8	16	0.18	139	1670	3	250	137.9	331	105.9	254	305
3	4.5	2.4	30	7	12	19	0.18	139	1670	4	350	201.3	483	154.2	370	444
4	6.5	2.4	30	6	12	18	0.18	139	1670	4	400	221.5	532	170.3	409	490

i = interasse tirante
 α = angolo d'inclinazione tirante sull'orizzontale
 L_{libera} = Lunghezza libera tirante
 L_{fond} = lunghezza bulbo di fondazione tirante
 L_{tot} = lunghezza totale tirante
 d_{perf} = diametro perforazione tirante
 A_{tref} = area singolo trefolo
 $f_{p(t)k}$ = tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua
 n_{tref} = numero di trefoli tirante
 N_0 = pretensione iniziale alla messa in opera
 N_{max_SLU} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU
 $N^*_{max_SLU}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLU
 N_{max_SLE} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLE
 $N^*_{max_SLE}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLE
 N_c = carico totale di collaudo singolo tirante ($1.2N^*_{max_SLE}$)

Verifica a sfilamento											
Ordine	α	d_{perf} (m)	$\alpha \times d_{perf}$ (m)	τ_{lim} (kPa)	L_{fond} (m)	$N_{rb,k}$ (kN)	ξ_{s3}	γ_R	N_{rb} (kN)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	FS
1	1.4	0.18	0.252	120	5	475	1.75	1.1	247	196	1.26
2	1.4	0.18	0.252	120	8	760	1.75	1.1	395	331	1.19
3	1.4	0.18	0.252	120	12	1140	1.75	1.1	592	483	1.23
4	1.4	0.18	0.252	160	12	1520	1.75	1.1	790	532	1.49

α = coefficiente di amplificazione del diametro di perforazione
 d_{perf} = diametro perforazione tirante
 τ_{lim} = resistenza limite tangenziale unitaria
 γ_R = coefficiente parziale per tiranti provvisori
 ξ_{s3} = coefficiente di correlazione in funzione delle verticali indagate
 $N_{rb,k}$ = resistenza a sfilamento caratteristica del tirante
 N_{rb} = resistenza a sfilamento di progetto del tirante

6.1.7 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA

DEFORMAZIONI ORIZZONTALI DELLA PARATIA

Nella figura che segue si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera allo SLE nella condizione maggiormente gravosa (fase di massimo scavo).

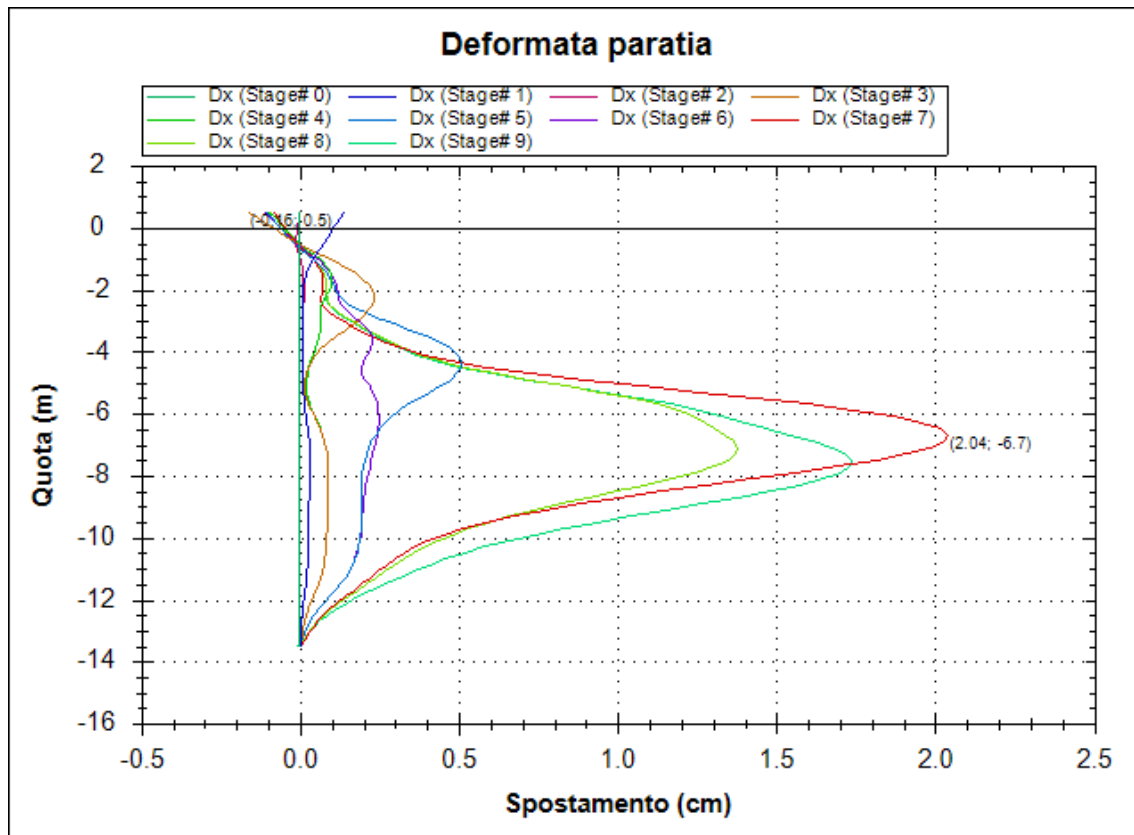


Figura 40: SPALLA 1 - Diagramma delle deformazioni allo SLE

SLE	
Spostamento orizzontale massimo δ_{h_max} (cm)	2.0

Si osserva che lo spostamento massimo indicato nella tabella precedente si riferisce ad una fase intermedia (STEP 7) mentre in corrispondenza della fase finale (STEP 9), lo spostamento orizzontale si riduce a circa 1.5 cm.

In testa alla paratia invece lo spostamento massimo risulta dell'ordine di qualche millimetro.

In relazione alla provvisorialità dell'opera, gli spostamenti orizzontali massimi risultano comunque compatibili con la sua funzionalità.

6.1.8 STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA

Le fasi di realizzazione della paratia devono portare a cedimenti superficiali tali da non compromettere il normale funzionamento della linea ferroviaria esistente.

Nel caso in esame, come riportato nella figura seguente, i cedimenti superficiali massimi risultano pari a circa 0.5 cm. I valori ottenuti risultano di entità tale da non pregiudicare l'esercizio ferroviario.

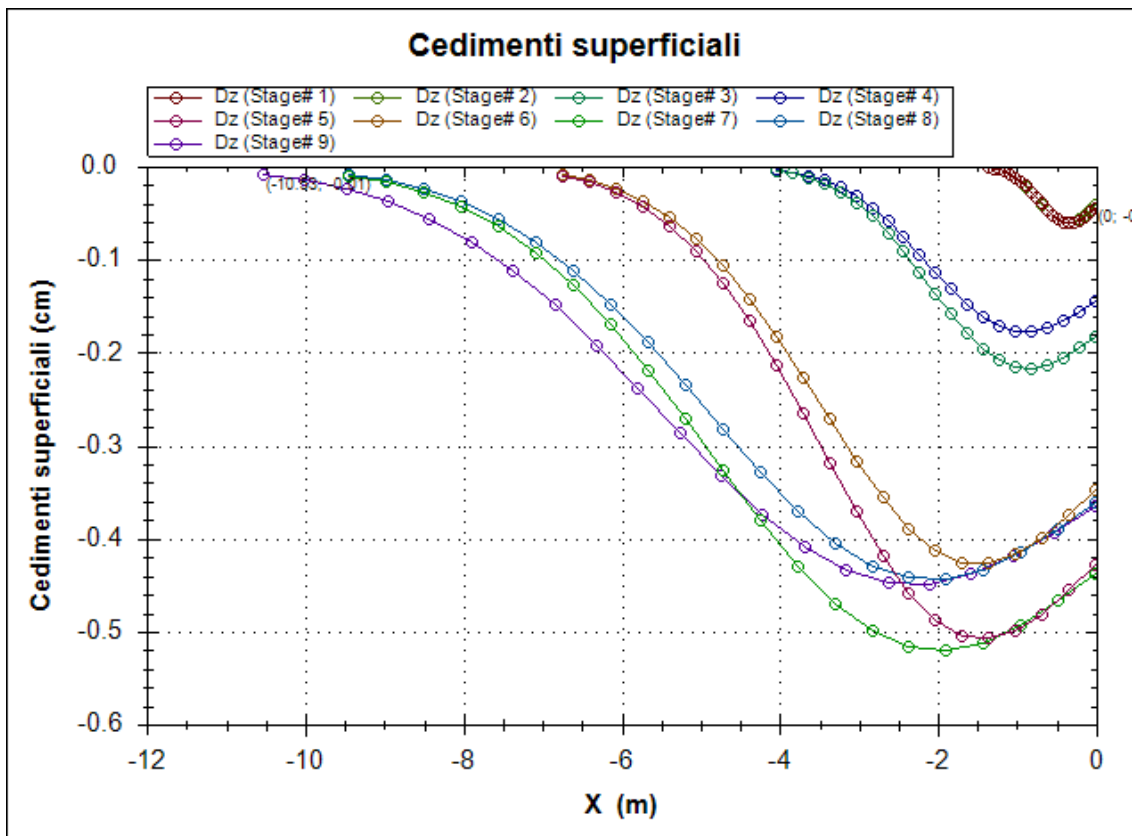


Figura 41: SPALLA 1 – Cedimenti verticali del terreno

6.2 SPALLA 2

6.2.1 SOLLECITAZIONI AGENTI

Nelle tabelle che seguono si sintetizzano i risultati ottenuti nell'analisi. Nelle figure sono mostrati i relativi diagrammi.

MICROPALI	M_{max} (kNm/m)	M^*_{max} (kNm)	T_{max} (kN/m)	T^*_{max} (kN)
SLE_max	38.6	15.4	66.2	26.5
SLU (A1+M1+R1)_max	52.4	21.0	86.6	34.6

TIRANTI 1° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	63.1	151
SLU (A1+M1+R1)_max	82.1	197

TIRANTI 2° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	114.4	275
SLU (A1+M1+R1)_max	150.2	360

TIRANTI 3° ORDINE	R_{max} (kN/m)	R^*_{max} (kN)
SLE_max	150.9	362
SLU (A1+M1+R1)_max	196.6	472

con:

M_{max} = sollecitazione massima di momento flettente al metro lineare di paratia;

M^*_{max} = sollecitazione massima di momento flettente sul singolo micropalo (considerando un interasse di 0.4 m);

T_{max} = sollecitazione massima di taglio al metro lineare di paratia;

T^*_{max} = sollecitazione massima di taglio sul singolo micropalo (considerando un interasse di 0.4 m).

R_{max} = reazione sui tiranti al metro lineare di paratia;

R^*_{max} = reazione sul singolo tirante (considerando un interasse di 2.4m).

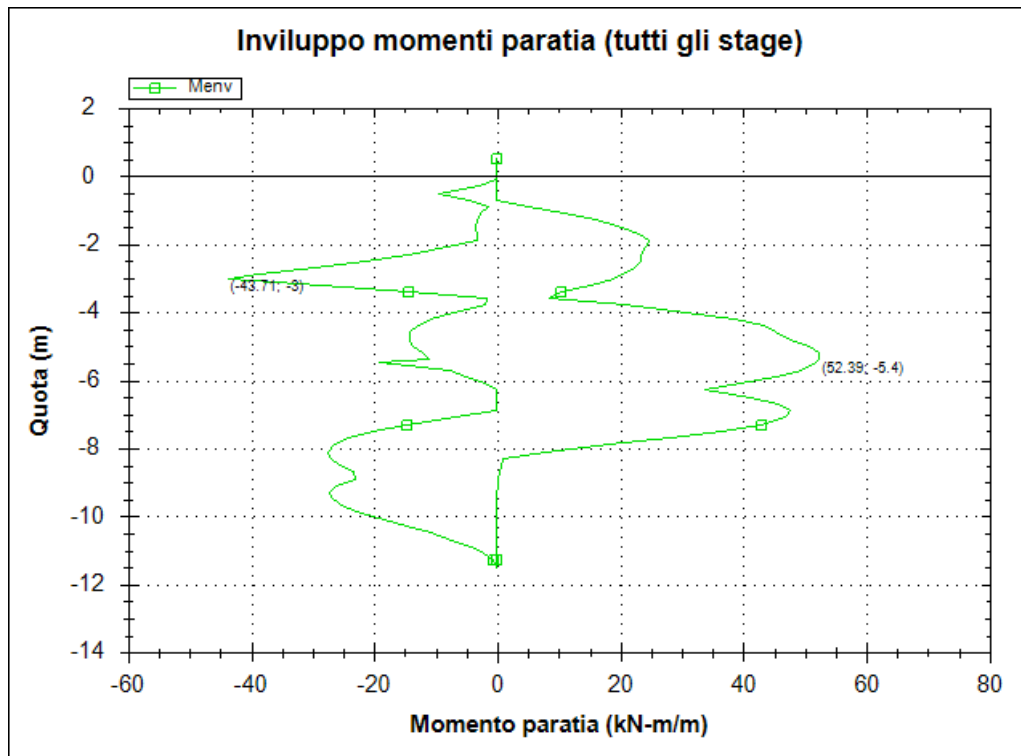


Figura 42: SPALLA 2_PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLU (A1+M1+R1)

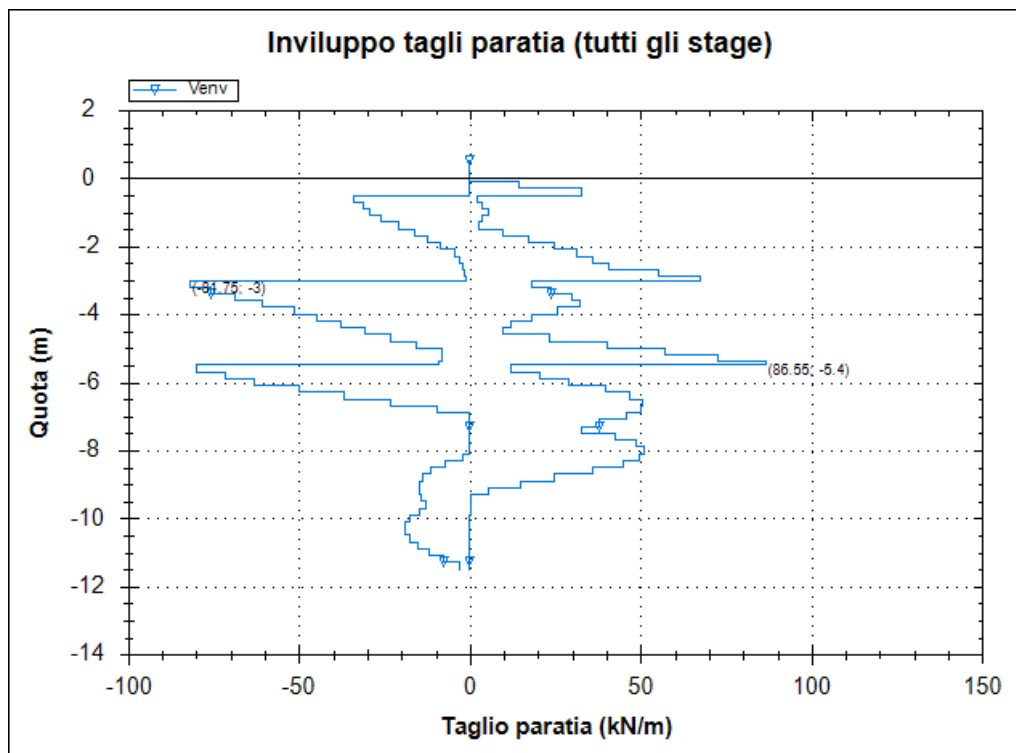


Figura 43: SPALLA 2_PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	52 di 63

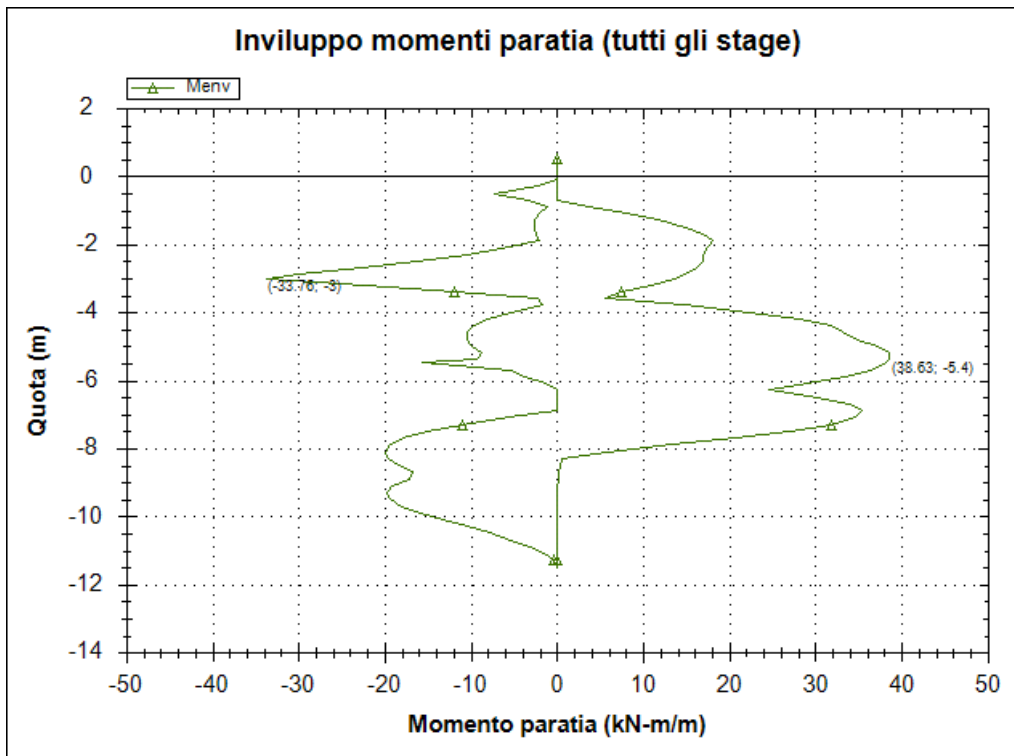


Figura 44: SPALLA 2_PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLE

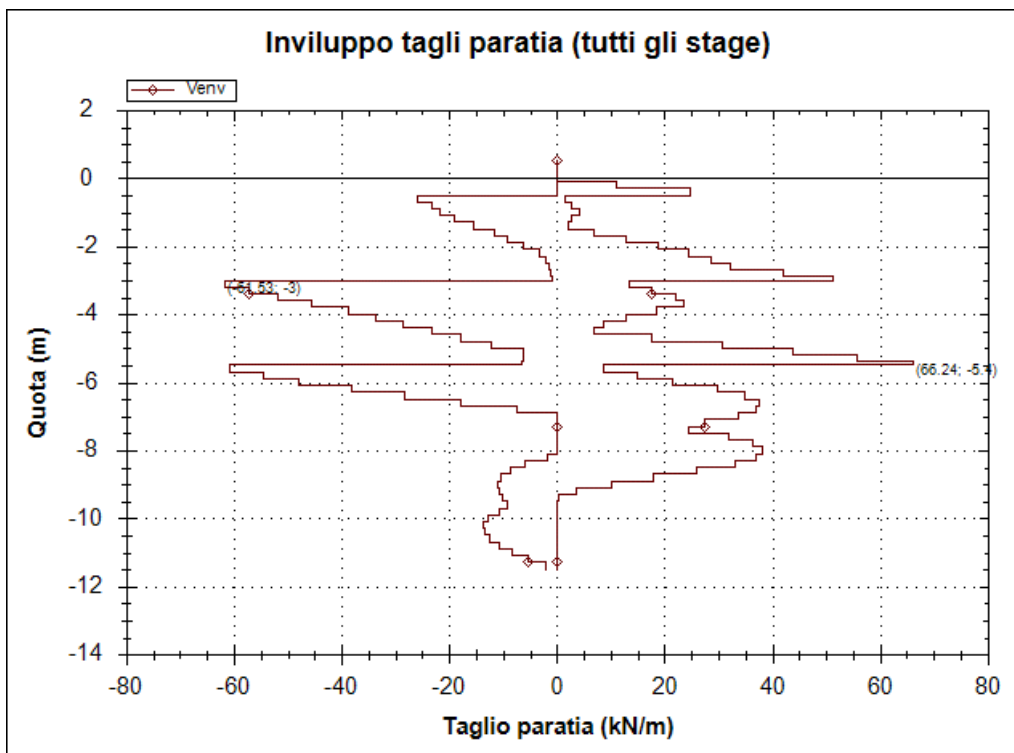


Figura 45: SPALLA 2_PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLE

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	53 di 63

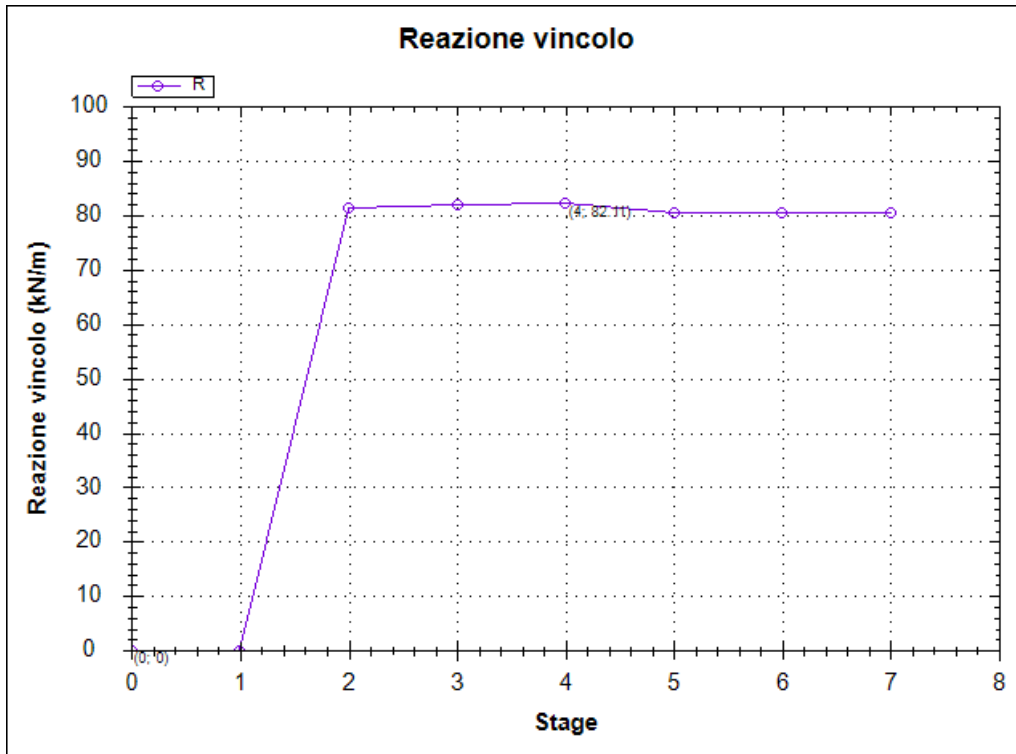


Figura 46: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 1° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

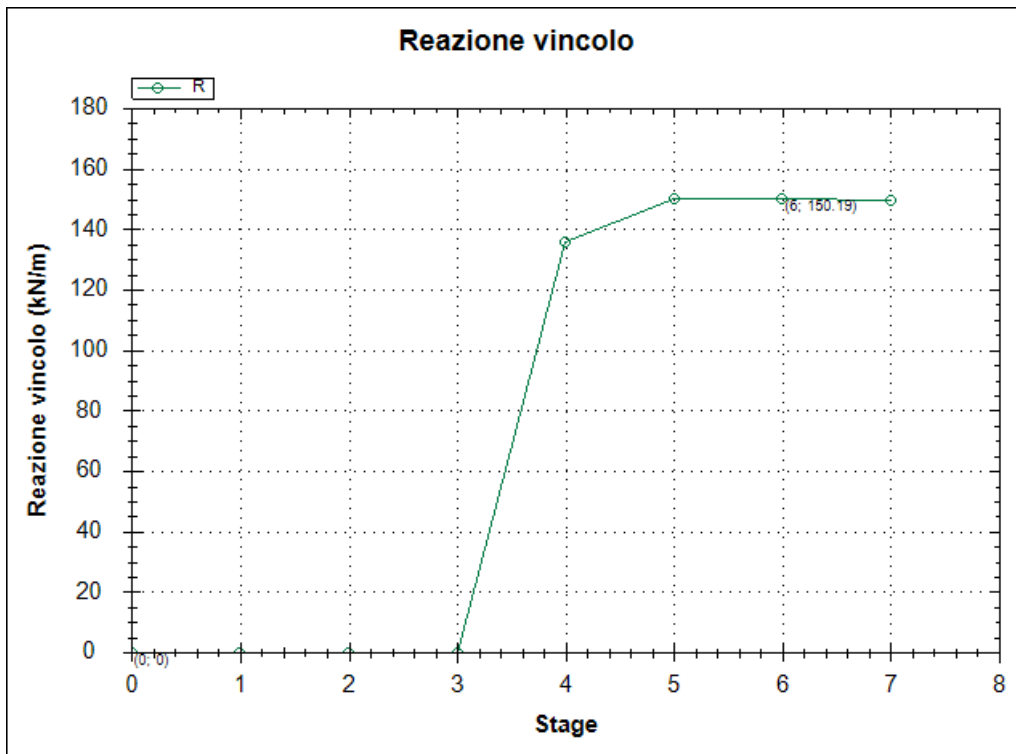


Figura 47: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 2° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	54 di 63

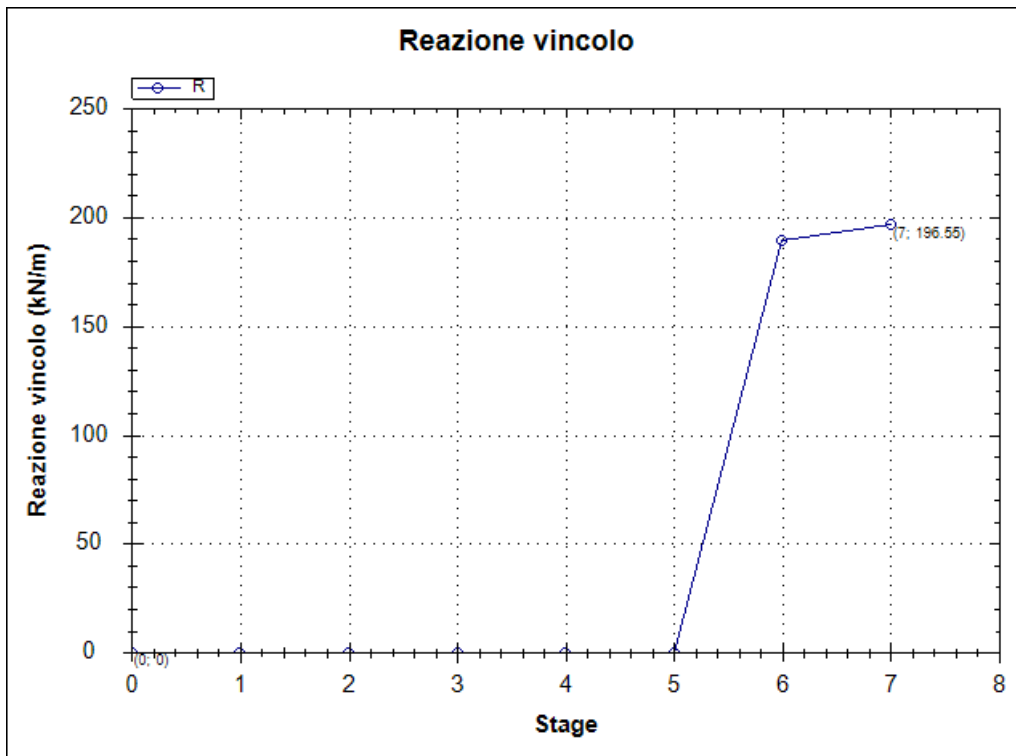


Figura 48: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 3° ordine tiranti allo SLU (A1+M1+R1)

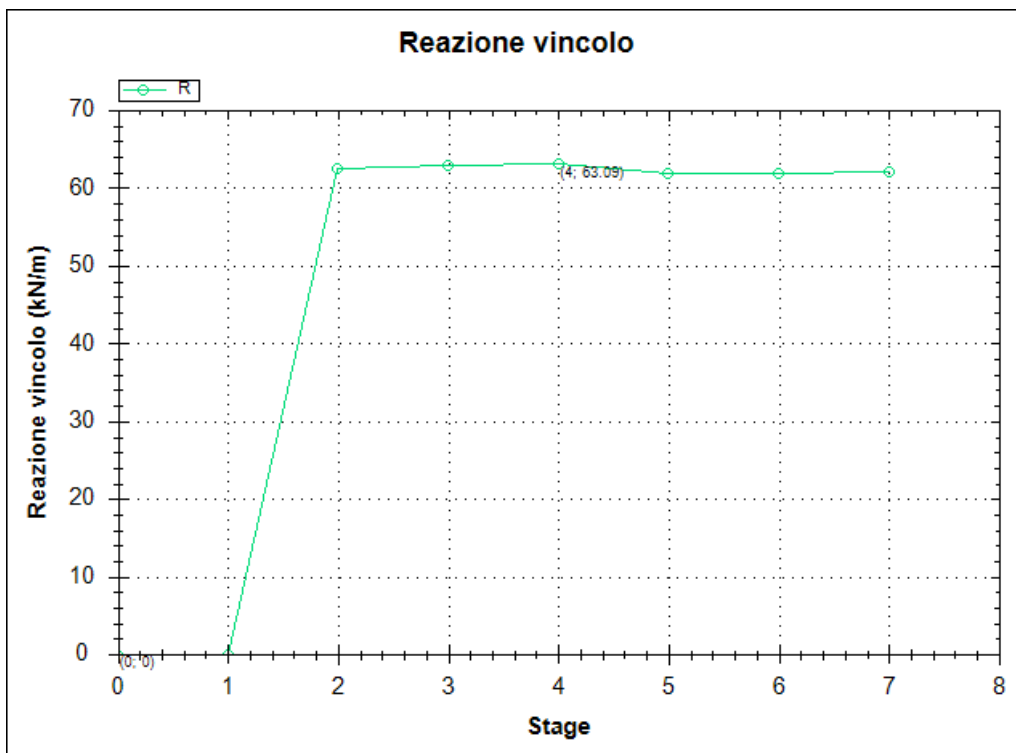


Figura 49: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 1° ordine tiranti allo SLE

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	55 di 63

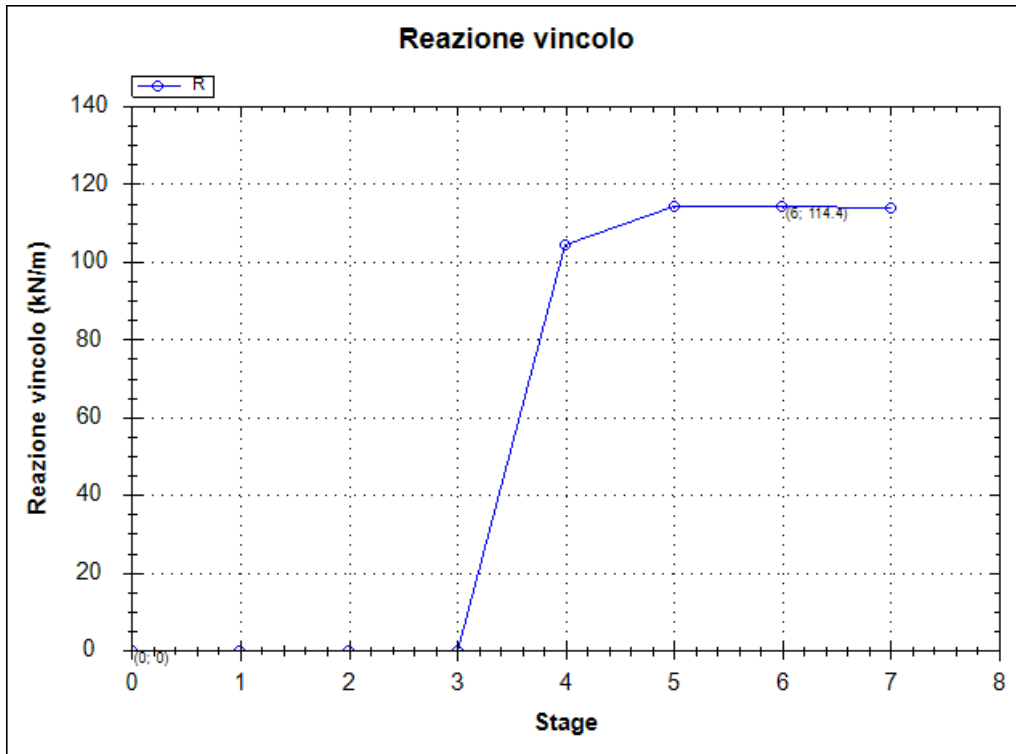


Figura 50: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 2° ordine tiranti allo SLE

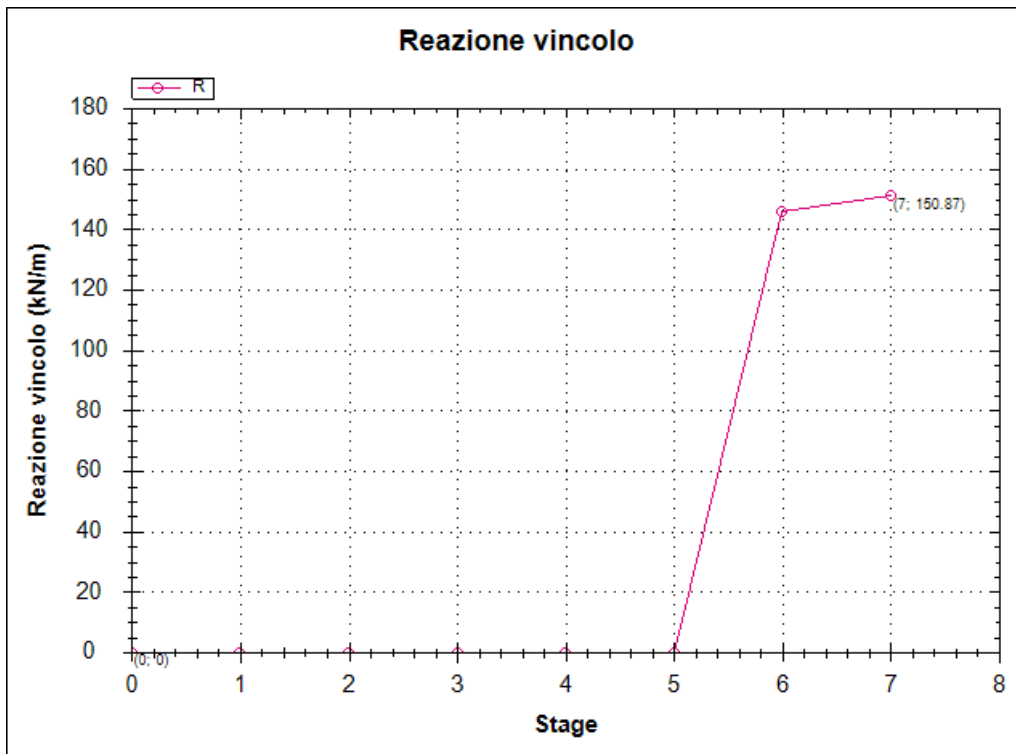


Figura 51: SPALLA 2_PILA 1 – Reazione 3° ordine tiranti allo SLE

6.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI DEI MICROPALI

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei micropali verticali. Ai fini della resistenza, si prende in considerazione esclusivamente la presenza del tubo di armatura, trascurando il contributo della miscela cementizia.

Calcolo delle caratteristiche meccaniche dei profili tubolari e verifica secondo DM 2008

Diametro esterno nominale	D	168.30	[mm]
Spessore nominale	t	6.00	[mm]
Diametro interno nominale	d	156.30	[mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Area della sezione trasversale	A	30.6	[cm ²]
Momento d'inerzia	I	1009	[cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	5.74	[cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	120	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	158	[cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	2017	[cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	240	[cm ³]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f _{yk}	355	[MPa]
Coefficiente e	ε	0.81	[-]
Classificazione			
Diametro	d	168.30	[mm]
Spessore	t	6.00	[mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	28.05	[-]
Classificazione della sezione	CLASSE 1		

VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

V _{Ed}	34.6	[kN]		
A _v	19.5	[cm ²]	Area a taglio	
γ _{M0}	1.05			
V _{c,Rd}	380	[kN]	Resistenza a taglio del tubo	FS = 10.97

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}]$$

VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE

M _{Ed}	21.0	[kNm]		
M _{c,Rd,pl}	53	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo (W _{pl,yy})	FS = 2.55
M _{c,Rd,el}	41	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo (W _{el,yy})	FS = 1.93

VERIFICHE TENSIONALI - SLE

V _{SLE}	26.5	[kN]	τ	14	[MPa]	
M _{SLE}	15.4	[kNm]	σ _M	129	[MPa]	
N _{SLE}	0	[kN]	σ _N	0	[MPa]	
			σ _{TOT}	131	[MPa]	ok

Le verifiche a flessione e taglio del micropalo risultano soddisfatte.

Opere provvisoriale pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	57 di 63

6.2.3 VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO

Il cordolo della paratia presenta dimensioni $B \times H = 0.5 \times 0.5 \text{ m}$ ed è armato con barre longitudinali $\varnothing 12$ e staffe trasversali $\varnothing 10/20 \text{ cm}$. La verifica strutturale del cordolo può essere omessa in quanto, non essendo la paratia vincolata in testa, le sollecitazioni flettenti e di taglio sul cordolo sono trascurabili.

6.2.4 VERIFICHE STRUTTURALI DEI TIRANTI E DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE

Si riportano a seguire le verifiche di carattere strutturale effettuate sui tiranti di ancoraggio e sulle relative travi di ripartizione. Queste ultime risultano costituite da 2 profili UPN200 accoppiati; in corrispondenza della testata dei tiranti sono presenti 2 piastre di ripartizione di dimensioni $350 \times 450 \times 40 \text{ mm}$ e $450 \times 570 \times 40 \text{ mm}$. Per i dettagli si rimanda ai relativi elaborati grafici.

Ordine	Caratteristiche Geometriche Tiranti							Caratteristiche trefoli e pretensione tiranti					Carichi di progetto				
	Quota da testa pali (m)	i (m)	α (°)	L_{libera} (m)	L_{fond} (m)	L_{tot} (m)	d_{perfor} (m)	A_{tref} (mm ²)	$f_{p(1)k}$ (MPa)	n_{tref} (-)	N_0 (kN)	N_{max_SLU} (kN/m)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	N_{max_SLE} (kN/m)	$N^*_{max_SLE}$ (kN)	N_c (kN)	
1	0.5	2.4	30	11	5	16	0.18	139	1670	3	150	82.1	197	63.1	151	182	
2	3	2.4	30	8	8	16	0.18	139	1670	3	250	150.2	360	114.4	275	329	
3	5.5	2.4	30	7	12	19	0.18	139	1670	4	350	196.6	472	150.9	362	435	

i = interasse tirante
 α = angolo d'inclinazione tirante sull'orizzontale
 L_{libera} = lunghezza libera tirante
 L_{fond} = lunghezza bulbo di fondazione tirante
 L_{tot} = lunghezza totale tirante
 d_{perfor} = diametro perforazione tirante
 A_{tref} = area singolo trefolo
 $f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua
 n_{tref} = numero di trefoli tirante
 N_0 = pretensione iniziale alla messa in opera
 N_{max_SLU} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU
 $N^*_{max_SLU}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLU
 N_{max_SLE} = carico massimo al metro lineare di paratia allo SLE
 $N^*_{max_SLE}$ = carico massimo sul singolo tirante allo SLE
 N_c = carico totale di collaudo singolo tirante ($1.2 \times N^*_{max_SLE}$)

Ordine	Verifica strutturale trefoli							Gerarchia delle resistenze				
	A_{tref} (mm ²)	$f_{p(1)k}$ (MPa)	n_{tref} (-)	γ_s	N_{yk} (kN)	N_{yd} (kN)	$N^*_{max_SLU}$ (kN)	FS	N_{yk} (kN)	N_{rb} (kN)	$N_{yk} > N_{rb}$	
1	139	1670	3	1.15	696	606	197	3.07	696	247	ok	
2	139	1670	3	1.15	696	606	360	1.68	696	395	ok	
3	139	1670	4	1.15	929	807	472	1.71	929	592	ok	

A_{tref} = area singolo trefolo
 n_{tref} = numero di trefoli tirante
 $f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua
 γ_s = coefficiente parziale sicurezza per verifica acciaio tiranti
 N_{yk} = carico limite strutturale caratteristico del tirante
 N_{yd} = carico limite strutturale di progetto del tirante
 N_{rb} = resistenza a sfilamento di progetto del tirante

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

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	58 di 63

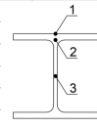
Verifica trave di ripartizione

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{M0}	N_{max_SLU} (kN/m)	L (m)	M_{Ed_SLU} (kNm)	V_{Ed_SLU} (kN)	n_p (-)	$M_{Ed_SLU_p}$ (kNm)	$V_{Ed_SLU_p}$ (kN)	Profilo	$V_{C,Rd}$ (kN)	$\rho = [2V_{Ed}/V_{C,Rd} \cdot 1]^2$	$V_{Ed}/V_{C,Rd}$	$M_{pl,Rd}$ (kNm)	$M_{y,V,Rd}$ (kNm)	FS
1	355	1.05	82.1	2.4	47	118	2	24	59	UPN200	346	0.43	0.17	77	64	2.69
2	355	1.05	150.2	2.4	87	216	2	43	108	UPN200	346	0.14	0.31	77	73	1.68
3	355	1.05	196.6	2.4	113	283	2	57	142	UPN200	346	0.03	0.41	77	76	1.34

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{M0}	N_{max_SLE} (kN/m)	L (m)	M_{Ed_SLE} (kNm)	V_{Ed_SLE} (kN)	n_p (-)	$M_{Ed_SLE_p}$ (kNm)	$V_{Ed_SLE_p}$ (kN)	Profilo	σ_1 (Mpa)	τ_3 (Mpa)	σ_2 (Mpa)	τ_2 (Mpa)	σ_{id} (Mpa)
1	355	1.05	63.1	2.4	36	91	2	18	45	UPN200	95	32	84	23	93
2	355	1.05	114.4	2.4	66	165	2	33	82	UPN200	172	58	153	41	169
3	355	1.05	150.9	2.4	87	217	2	43	109	UPN200	228	77	201	54	222

	h (mm)	b (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	r (mm)	A (cm ²)	W_{el} (cm ³)	W_{pl} (cm ³)	A_{v2} (cm ²)	I_y (cm ⁴)
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910
UPN200	200	75	8.5	11.5	11.5	32.2	191	228	17.71	1910

f_{yk} =	tensione di snervamento dell'acciaio della trave di ripartizione	M_{Ed_SLE} =	momento agente sulla trave di ripartizione allo SLE
γ_{M0} =	coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio	V_{Ed_SLE} =	taglio agente sulla trave di ripartizione allo SLE
N_{max_SLU} =	carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU	$M_{Ed_SLE_p}$ =	momento agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLE
L =	luce di calcolo	$V_{Ed_SLE_p}$ =	taglio agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLE
M_{Ed_SLU} =	momento agente sulla trave di ripartizione allo SLU	σ_1 =	tensione normale nel punto 1
V_{Ed_SLU} =	taglio agente sulla trave di ripartizione allo SLU	τ_3 =	tensione tangenziale nel punto 3
n_p =	numero di profili sulla trave di ripartizione	σ_2 =	tensione normale nel punto 2
$M_{Ed_SLU_p}$ =	momento agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLU	τ_2 =	tensione normale nel punto 2
$V_{Ed_SLU_p}$ =	taglio agente sul singolo profilo della trave di ripartizione allo SLU	$\sigma_{id} = (\sigma_2^2 + 3\tau_2^2)^{0.5}$	tensione ideale
$V_{C,Rd}$ =	taglio resistente del singolo profilo della trave di ripartizione		
r =	coefficiente di cui all'espressione 4.2.32 del DM 14/01/2008		
$M_{pl,Rd}$ =	resistenza di calcolo a flessione del singolo profilo della trave di ripartizione		
$M_{y,V,Rd}$ =	resistenza convenzione di calcolo a flessione retta per sezioni soggette a flessione e taglio nel piano dell'anima		



Verifica piastra di ripartizione 350x450x40mm

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{M0}	N_{max_SLU} (kN)	i_{frazz} (m)	p (kN/m)	M_{Ed_SLU} (kNm)	V_{Ed_SLU} (kN)	ϕ_{foro} (mm)	b (mm)	b' (mm)	h (mm)	W (mm ³)	σ_s (MPa)	τ_s (MPa)	σ_{id} (MPa)	FS
1	355	1.05	197	0.25	788	6.2	98.52	135	350	215	40	57333	107	11	109	3.10
2	355	1.05	360	0.25	1442	11.3	180.24	135	350	215	40	57333	196	21	200	1.69
3	355	1.05	472	0.25	1887	14.7	235.92	135	350	215	40	57333	257	27	262	1.29

Verifica piastra di ripartizione 450x570x40mm

Ordine	f_{yk} (MPa)	γ_{M0}	N_{max_SLU} (kN)	i_{frazz} (m)	p (kN/m)	M_{Ed_SLU} (kNm)	V_{Ed_SLU} (kN)	ϕ_{foro} (mm)	b (mm)	b' (mm)	h (mm)	W (mm ³)	σ_s (MPa)	τ_s (MPa)	σ_{id} (MPa)	FS
1	355	1.05	197	0.3905	505	9.6	98.52	185	570	385	40	102667	94	6	94	3.58
2	355	1.05	360	0.3905	923	17.6	180.24	185	570	385	40	102667	171	12	173	1.96
3	355	1.05	472	0.3905	1208	23.0	235.92	185	570	385	40	102667	224	15	226	1.50

f_{yk} =	tensione di snervamento dell'acciaio della trave di ripartizione		
γ_{M0} =	coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio		
N_{max_SLU} =	carico massimo sul singolo tirante allo SLU		
i_{frazz} =	interasse fazzoletti		
p =	carico al metro lineare		
M_{Ed_SLU} =	momento agente sulla piastra di ripartizione allo SLU		
V_{Ed_SLU} =	taglio agente sulla piastra di ripartizione allo SLU		
ϕ_{foro} =	di diametro foro della piastra		
b =	larghezza piastra		
b' =	larghezza piastra al netto del foro		
h =	spessore piastra		
W =	modulo di resistenza della sezione netta della piastra		
σ_s =	tensione normale nella piastra		
τ_s =	tensione tangenziale nella piastra		
σ_{id} =	tensione ideale nella piastra		

Le verifiche risultano sempre soddisfatte

6.2.5 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R1).

Nella tabella che segue si mostrano i risultati delle analisi per l'approccio di calcolo considerato. La verifica risulta soddisfatta se la spinta passiva massima mobilizzabile risulta superiore alla spinta passiva massima mobilitata.

STEP 2	SLU (statica)
	(A2+M2+R1)
Spinta passiva massima mobilizzabile	208
Spinta passiva mobilitata	154
FS % passiva mobilitata	1.35

avendo posto:

- **FS % passiva mobilitata:** rapporto tra la spinta passiva e la spinta effettivamente mobilitata a valle.

ooooo

La verifica di stabilità globale della paratia è stata condotta ai sensi del DM 2008 nella configurazione di coefficienti parziali (A2+M2+R2). Il coefficiente di sicurezza risulta pari a 1.52 e quindi superiore al minimo richiesto (pari a 1.1); la verifica risulta soddisfatta.

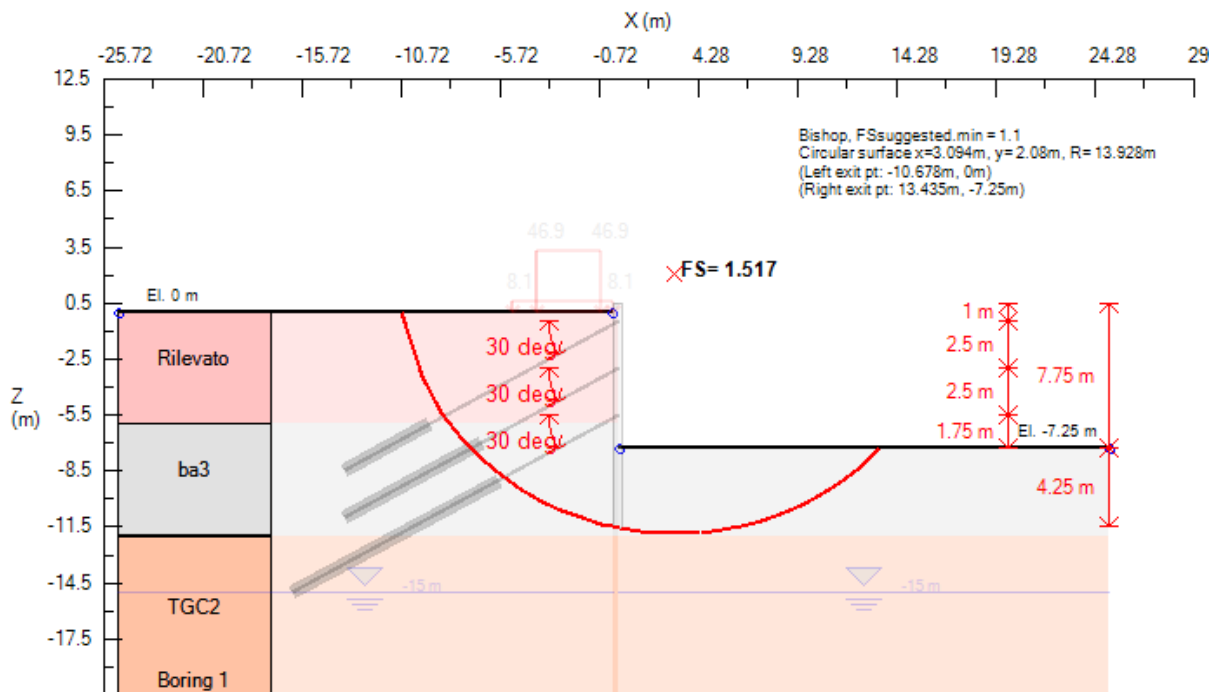


Figura 52: SPALLA 2_PILA 1 – Verifica di stabilità globale allo SLU (A2+M2+R2)

Opere provvisorie pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	60 di 63

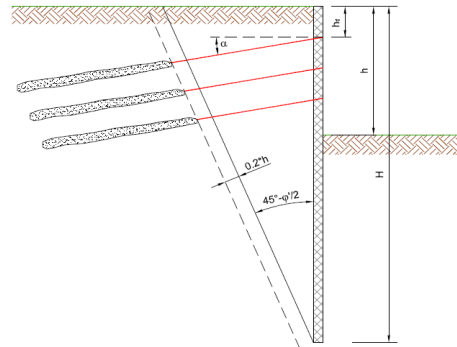
6.2.6 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DEI TIRANTI

Si riporta di seguito il dimensionamento del tratto libero della paratia.

La lunghezza del tratto libero dei tiranti risulta essere pari a 11.0 m (1° ordine), 8.0 m (2° ordine), 7.0 m (3° ordine). In tutti i casi risulta essere superiore al valore minimo riportato di seguito.

CALCOLO DELLA LUNGHEZZA LIBERA DEL TIRANTE DI UNA PARATIA

H =	12	(m)	altezza totale della paratia
h _{t1} =	1	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 1
h _{t2} =	3.5	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 2
h _{t3} =	6	(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 3
h _{t4} =		(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 4
h _{t5} =		(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 5
h _{t6} =		(m)	distanza dalla testa della paratia al tirante 6
φ'	26	(°)	angolo di resistenza al taglio del terreno spingente
α	30	(°)	angolo di inclinazione dei tiranti
h	7.75	(m)	altezza fuori scavo
h'	1.55	(m)	incremento di sicurezza per la lunghezza libera = 0.2*h



Condizioni statiche

L _{t1}	L _{t2}	L _{t3}	L _{t4}	L _{t5}	L _{t6}
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
7.4	6.1	4.7			

$$L_{ti} = h' + (H - h_{ti}) \cdot \frac{\sin(45 - \phi/2)}{\cos(45 - \frac{\phi}{2} - \alpha)}$$

Con riferimento ai valori di adesione laterale definiti in precedenza, nella tabella che segue si mostrano i risultati della verifiche a sfilamento per ognuno dei tre ordini di tiranti.

Caratteristiche Geometriche Tiranti							Caratteristiche trefoli e pretesione tiranti					Carichi di progetto				
Ordine	Quota da testa pali (m)	i (m)	α (°)	L _{libera} (m)	L _{fond} (m)	L _{tot} (m)	d _{perfor} (m)	A _{tref} (mm ²)	f _{p(t)k} (MPa)	n _{tref} (-)	N ₀ (kN)	N _{max_SLU} (kN/m)	N* _{max_SLU} (kN)	N _{max_SLE} (kN/m)	N* _{max_SLE} (kN)	N _t (kN)
1	0.5	2.4	30	11	5	16	0.18	139	1670	3	150	82.1	197	63.1	151	182
2	3	2.4	30	8	8	16	0.18	139	1670	3	250	150.2	360	114.4	275	329
3	5.5	2.4	30	7	12	19	0.18	139	1670	4	350	196.6	472	150.9	362	435
i =	interasse tirante															
α =	angolo d'inclinazione tirante sull'orizzontale															
L _{libera} =	Lunghezza libera tirante															
L _{fond} =	lunghezza bulbo di fondazione tirante															
L _{tot} =	lunghezza totale tirante															
d _{perfor} =	diametro perforazione tirante															
A _{tref} =	area singolo trefolo															
f _{p(t)k} =	tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua															
n _{tref} =	numero di trefoli tirante															
N ₀ =	pretesione iniziale alla messa in opera															
N _{max_SLU} =	carico massimo al metro lineare di paratia allo SLU															
N* _{max_SLU} =	carico massimo sul singolo tirante allo SLU															
N _{max_SLE} =	carico massimo al metro lineare di paratia allo SLE															
N* _{max_SLE} =	carico massimo sul singolo tirante allo SLE															
N _t =	carico totale di collaudo singolo tirante (1.2xN* _{max_SLE})															
Verifica a sfilamento																
Ordine	α	d _{perfor} (m)	α x d _{perfor} (m)	τ _{lim} (kPa)	L _{ond} (m)	N _{b,k} (kN)	ξ _{s33}	γ _r	N _{td} (kN)	N* _{max_SLU} (kN)	FS					
1	1.4	0.18	0.252	120	5	475	1.75	1.1	247	197	1.25					
2	1.4	0.18	0.252	120	8	760	1.75	1.1	395	360	1.10					
3	1.4	0.18	0.252	120	12	1140	1.75	1.1	592	472	1.26					
α =	coefficiente di amplificazione del diametro di perforazione															
d _{perfor} =	diametro perforazione tirante															
τ _{lim} =	resistenza limite tangenziale unitaria															
γ _r =	coefficiente parziale per tiranti provvisori															
ξ _{s33} =	coefficiente di correlazione in funzione delle verticali indagate															
N _{b,k} =	resistenza a sfilamento caratteristica del tirante															
N _{td} =	resistenza a sfilamento di progetto del tirante															

6.2.7 VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA

DEFORMAZIONI ORIZZONTALI DELLA PARATIA

Nella figura che segue si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera allo SLE nella condizione maggiormente gravosa (fase di massimo scavo).

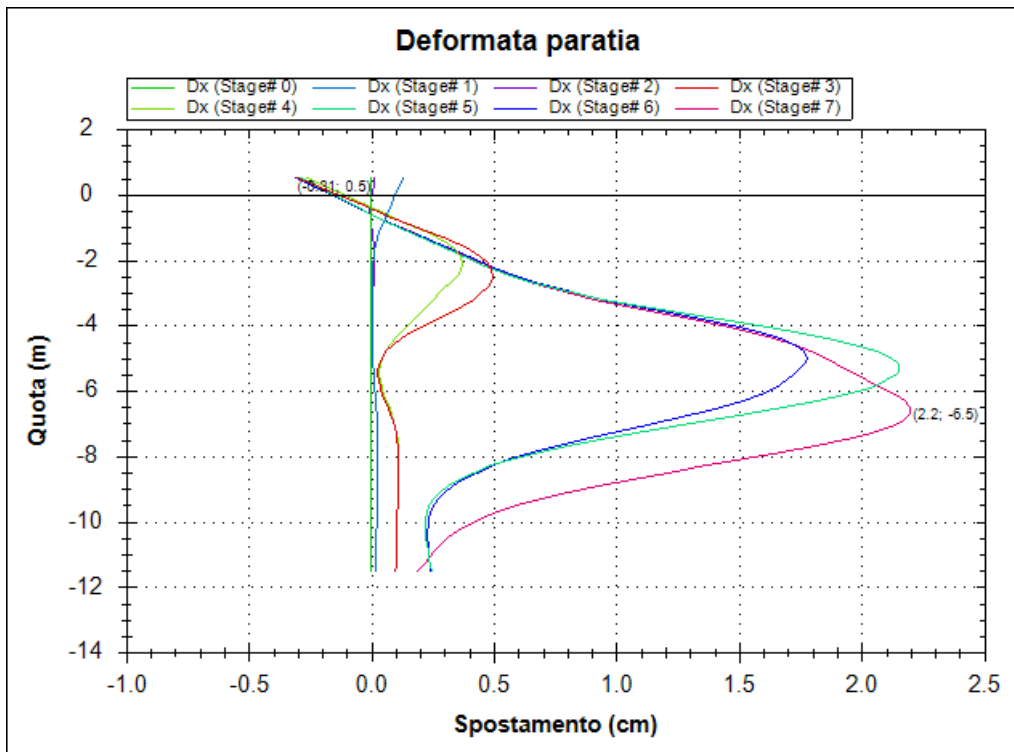


Figura 53: SPALLA 2_PILA 1 – Diagramma delle deformazioni allo SLE

SLE	
Spostamento orizzontale massimo δ_{h_max} (cm)	2.2

Si osserva che lo spostamento massimo indicato nella tabella precedente si riferisce alla fase finale (STEP 9); in testa alla paratia invece lo spostamento massimo risulta dell'ordine di qualche millimetro.

In relazione alla provvisorialità dell'opera, gli spostamenti orizzontali massimi risultano compatibili con la sua funzionalità.

6.2.8 STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA

Le fasi di realizzazione della paratia devono portare a cedimenti superficiali tali da non compromettere il normale funzionamento della linea ferroviaria esistente.

Nel caso in esame, come riportato nella figura seguente, i cedimenti superficiale massimi risultano pari a circa 0.75 cm. I valori ottenuti risultano di entità tale da non pregiudicare l'esercizio ferroviario.

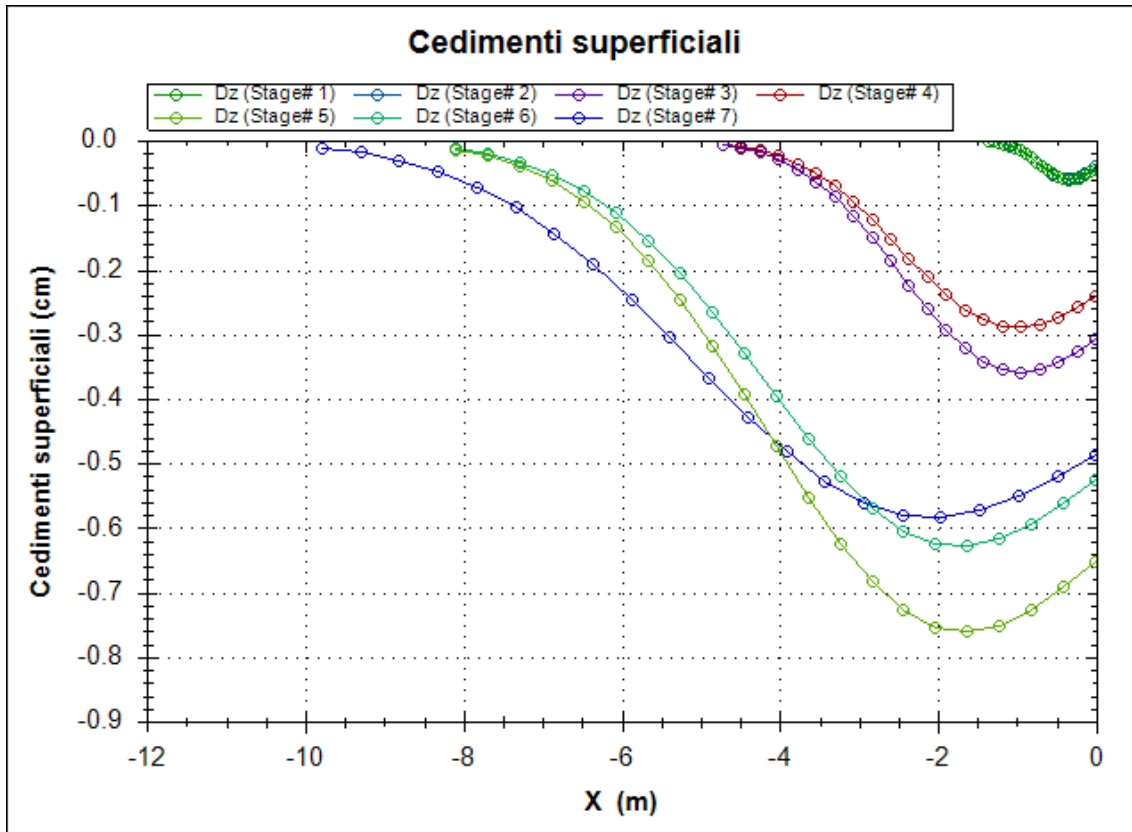


Figura 54: SPALLA 2_PILA 1 – Cedimenti verticali del terreno

Opere provvisionali pile/spalle: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0103 001	A	63 di 63

7 INCIDENZA ARMATURE

SPALLA 1, PILA 1, SPALLA 2	
Cordolo in c.a.	80 kg/mc
Tubo armatura micropali	Ø168.3 mm, sp.=6 mm – Peso = 25.2 kg/ml
Trave di ripartizione (2 x UPN200)	Peso = 2 x 25.3 kg/ml = 50.6 kg/ml