

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA:

DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI

Prof. Ing. Marco PETRANGELI

Ing. Piergiorgio GRASSO



Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche



## PROGETTO ESECUTIVO

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

VI04 – VIADOTTO dal km 19+742.42 al km 19+776.92: Viadotto Maltempo

Opere provvisori: Relazione di calcolo

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

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

I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A. Tagliaferri	24/02/2020	M. Pietrangeli	24/02/2020	P. Grasso	24/02/2020	M. Pietrangeli



24/02/2020

File: IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.03.001.A.doc

n. Elab.:

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Opere provvisori: Relazione di calcolo</b>	<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>VI0403 001</td> <td>A</td> <td>2 di 56</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	2 di 56
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	2 di 56								

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>CRITERI PROGETTUALI .....</b>	<b>8</b>
5.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	8
5.2	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE .....	11
5.2.1	VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) .....	11
5.2.2	APPROCCIO PROGETTUALE .....	12
5.2.3	VERIFICHE AGLI SLE.....	12
5.2.4	AZIONI SISMICA .....	13
5.2.5	COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	13
5.3	MODELLO DI CALCOLO .....	14
5.3.1	SPALLA 1 .....	15
5.3.2	PILA 1 .....	19
5.3.3	SPALLA 2 .....	23
<b>6</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI.....</b>	<b>27</b>
6.1	SPALLA 1.....	27
6.1.1	VERIFICHE STRUTTURALI - PALI.....	27
6.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO.....	35
6.1.3	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA.....	35
6.1.4	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA .....	36
6.1.5	STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA .....	37
6.2	PILA 1.....	38
6.2.1	VERIFICHE STRUTTURALI - PALI.....	38
6.2.2	VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO.....	44
6.2.3	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA.....	44

**Opere provvisionali: Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	3 di 56

6.2.4	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA .....	45
6.2.5	STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA .....	46
6.3	SPALLA 2.....	47
6.3.1	VERIFICHE STRUTTURALI - PALI.....	47
6.3.2	VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO .....	53
6.3.3	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLU DELLA PARATIA.....	53
6.3.4	VERIFICHE GEOTECNICHE ALLO SLE DELLA PARATIA .....	54
6.3.5	STIMA DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL TERRENO A MONTE DELLA PARATIA .....	55
7	INCIDENZA ARMATURE .....	56

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Opere provvisionali: Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403 001	REV. A	FOGLIO 4 di 56

## 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 VI04 - Viadotto Maltempo nell'ambito della progettazione esecutiva del Raddoppio della Tratta Canello - Benevento - I° Lotto Funzionale Frasso Telesino - Telese (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 VI0400 001 – Viadotto Maltempo - Opere provvisionali e pianta scavi Spalla S1
- [DC3]. IF26 12 EZZ PZ VI0400 002 – Viadotto Maltempo - Opere provvisionali e pianta scavi Spalla S2 e pila P1

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	5 di 56

### 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 provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	6 di 56

Pali		
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	▼

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])		

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Opere provvisionali: Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403 001	REV. A	FOGLIO 7 di 56

## 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.

*Tabella 1: Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento*

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E'$ [MPa]
da 0.0 a 7.4	ba1	19.0	39	0	90
da 7.4 a 13.6	TGC2	18.5	35	0	60
da 13.6 a 16.4	MDL1	20.0	38	0	100
da 16.4 a 17.2	MDL2	20.0	33	0	100
> 17.2	MDL3	20.0	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  $\delta=0.6\cdot\varphi'$ .

Il livello di falda è stato assunto, cautelativamente, ad una profondità di 10.0m dalla testa dei pali. La distribuzione delle pressioni interstiziali è stata assunta idrostatica a monte e a valle della paratia.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	8 di 56

## 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.

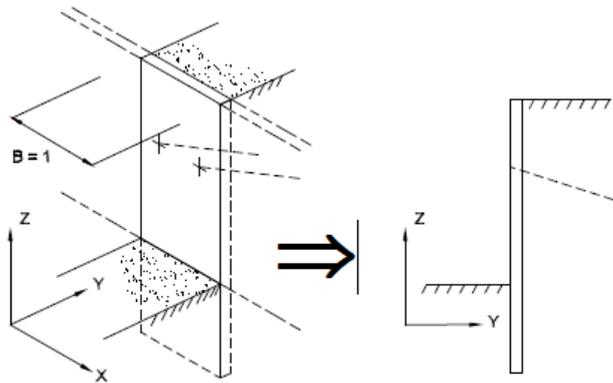


Figura 1: Modellazione piana della paratia

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.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	9 di 56

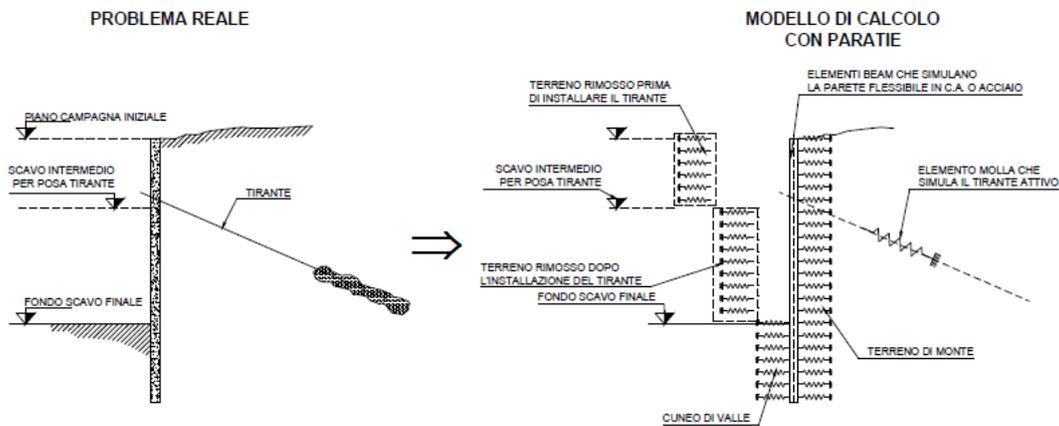


Figura 2: Schematizzazione terreno ed ancoraggi

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).

### 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.

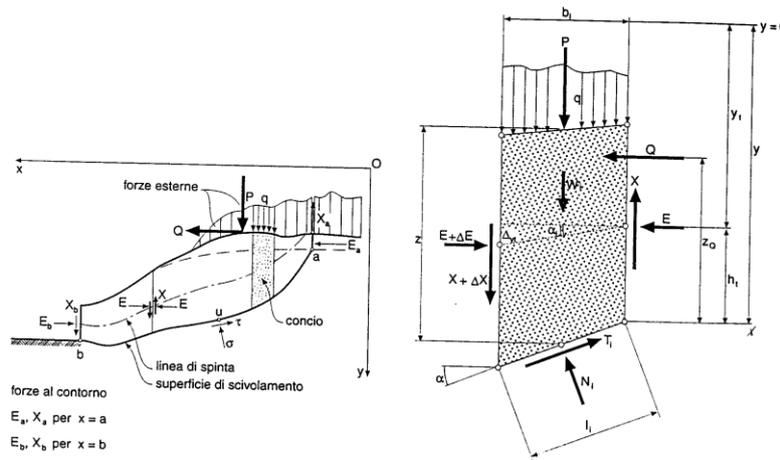
Nell'utilizzare tale metodo di calcolo si fa sempre riferimento ad un problema piano nel quale, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva, trascurando ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	10 di 56

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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Opere provvisionali: Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403 001	REV. A	FOGLIO 11 di 56

## 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  $X_k/\gamma_M$  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  $\gamma_R$  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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Opere provvisionali: Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403 001	REV. A	FOGLIO 12 di 56

## 5.2.2 APPROCCIO PROGETTUALE

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.

## 5.2.3 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

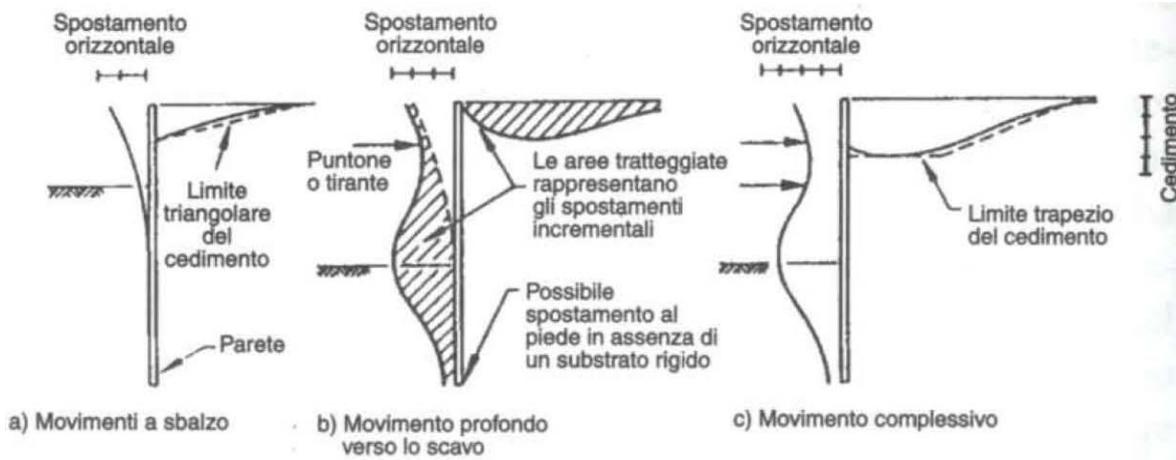
Nel caso in esame si fa riferimento allo studio di Clough & O'Rourke (1990) che raggruppa le osservazioni sperimentali disponibili sui movimenti del piano di campagna a tergo dello scavo nelle seguenti tre categorie principali:

- 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).

Opere provvisorie: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	13 di 56



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.

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

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

## 5.2.4 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.

## 5.2.5 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 provvisionali: Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	14 di 56

### 5.3 MODELLO DI CALCOLO

Le paratie sono costituite da pali Ø1000mm posti ad interasse 1.2m e pali Ø800mm posti ad interasse 1.0m.

Nella tabelle che segue si sintetizzano le caratteristiche geometriche dell'opera per i modelli di calcolo realizzati; per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati al progetto.

*Tabella 2: Modelli di calcolo – Caratteristiche geometriche*

MODELLO	Pile	Ø <sub>pali</sub> [m]	L <sub>pali</sub> [m]	Interasse pali [m]	H <sub>scavo</sub> [m]
01	Spalla 1	1000	14.0	1.2	5.7
02	Pila 1	1000	16.0	1.2	6.4
03	Spalla 2	800	10.0	1.0	4.1

Le altezze di scavo si intendono a partire dalla testa ei pali, come indicato nelle figure seguenti.

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 SW2, definito nella tabella 5.2.I 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. All'interno del rilevato la ripartizione può essere proseguita con un angolo di diffusione pari all'angolo di attrito interno del terreno.

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	15 di 56

### 5.3.1 SPALLA 1

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

PESO RILEVATO FERROVIARIO			
$\gamma_b =$	20 kN/m <sup>3</sup>		(peso specifico rilevato ferroviario esistente)
$H_m =$	3.17 m		(altezza media rilevato ferroviario)
$L_m =$	17 m		(larghezza rilevato alla quota di testa della paratia)
$A_{rilevato} =$	41.3 m <sup>2</sup>		(area impronta trasversale rilevato ferroviario fino a quota testa paratia)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>48.6 kN/m<sup>2</sup></b>		<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			
PESO BALLAST			
$\gamma_b =$	18 kN/m <sup>3</sup>		(peso specifico ballast)
$H_m =$	0.8 m		(altezza ballast)
$L_t =$	3.2 m		(larghezza ballast)
$\phi' =$	35°		(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	7.64	$(L_t + 2 \cdot H_m \cdot \tan \phi')$	(larghezza di diffusione del carico nel rilevato)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>6.0 kN/m<sup>2</sup></b>		<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			
CARICO VARIABILE DA TRAFFICO FERROVIARIO "TRENO SW2"			
$q_{sw2} =$	150 kN/m <sup>2</sup>		RFI DTC SI CS MA IFS 001 A (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)
$\phi' =$	35°		(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	7.64 m	$((L_t + 2 \cdot 0.4) + 2 \cdot H_m \cdot \tan \phi')$	(larghezza di diffusione del carico nel ballast+rilevato)
			(RFI DTC SI CS MA IFS 001 A par. 3.8.1.3.2.1)
<b>**<math>Q_{sw2} =</math></b>	<b>19.6 kN/m</b>		<b>(sovraccarico ferroviario)</b>
<i>*Trattandosi di rilevato esistente si assume cautelativamente un valore di <math>\phi'</math> pari a 35°</i>			
<i>**Applicato ad intradosso ballast</i>			

La paratia è costituita da pali Ø1000mm posti ad interasse 1.2 m, di lunghezza L=14.0m. L'altezza di scavo è pari a 5.7 m dalla testa dei pali.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	16 di 56

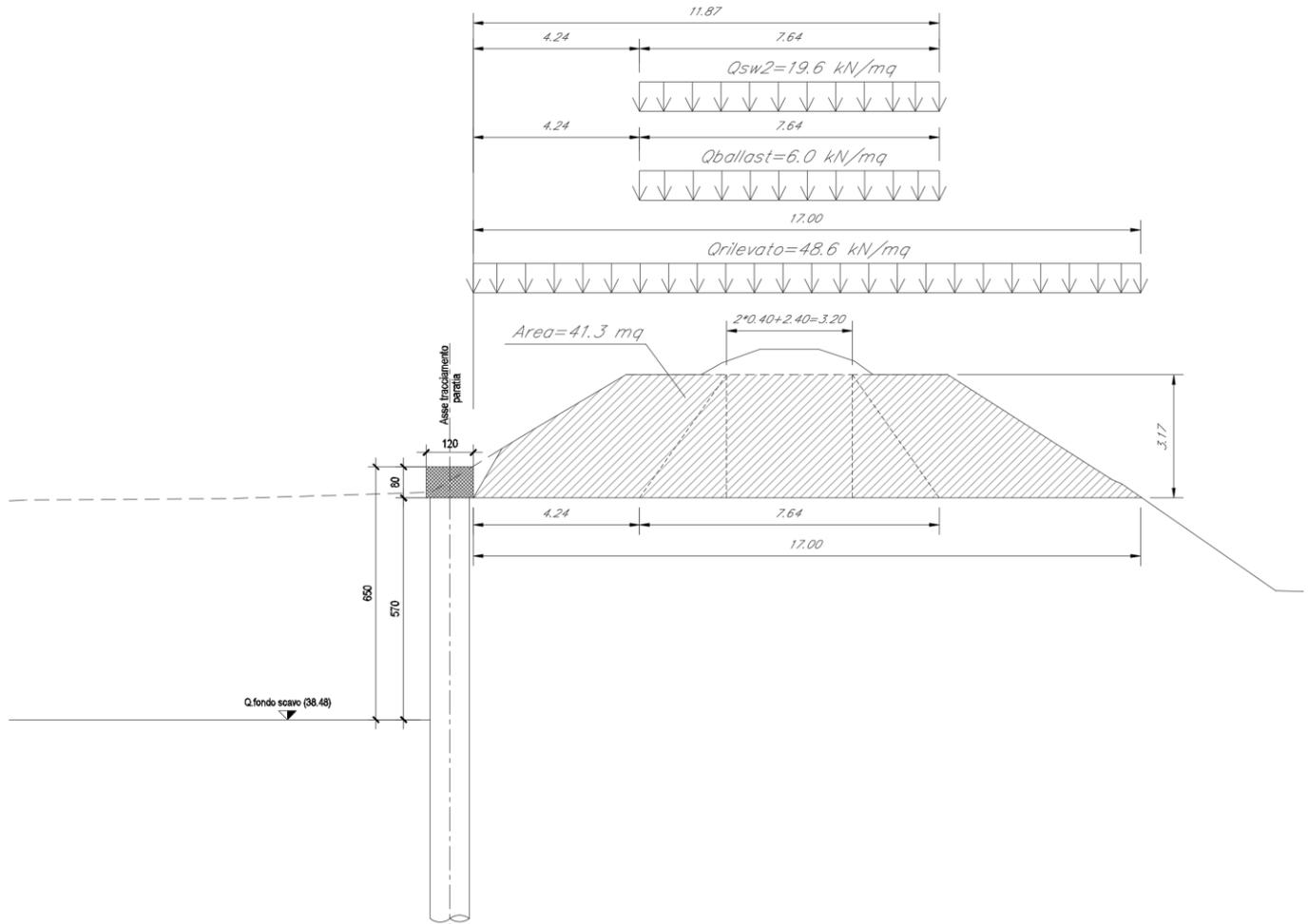


Figura 3: SPALLA 1 - Schema di calcolo

La fasi di calcolo risultano:

- STEP 0): Fase geostatica iniziale; la falda è posta a -10.0m dalla testa dei pali. Si considera agente il peso permanente del rilevato ferroviario e della sovrastruttura ferroviaria.
- STEP 1): Realizzazione dei pali della paratia. I carichi permanenti sono i medesimi della fase precedente, inoltre a monte si considera il carico variabile da traffico. A monte si considera in aggiunta il carico variabile dovuto al traffico ferroviario.
- STEP 2): Scavo fino alla profondità di 5.7m dalla testa dei pali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.



Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	18 di 56

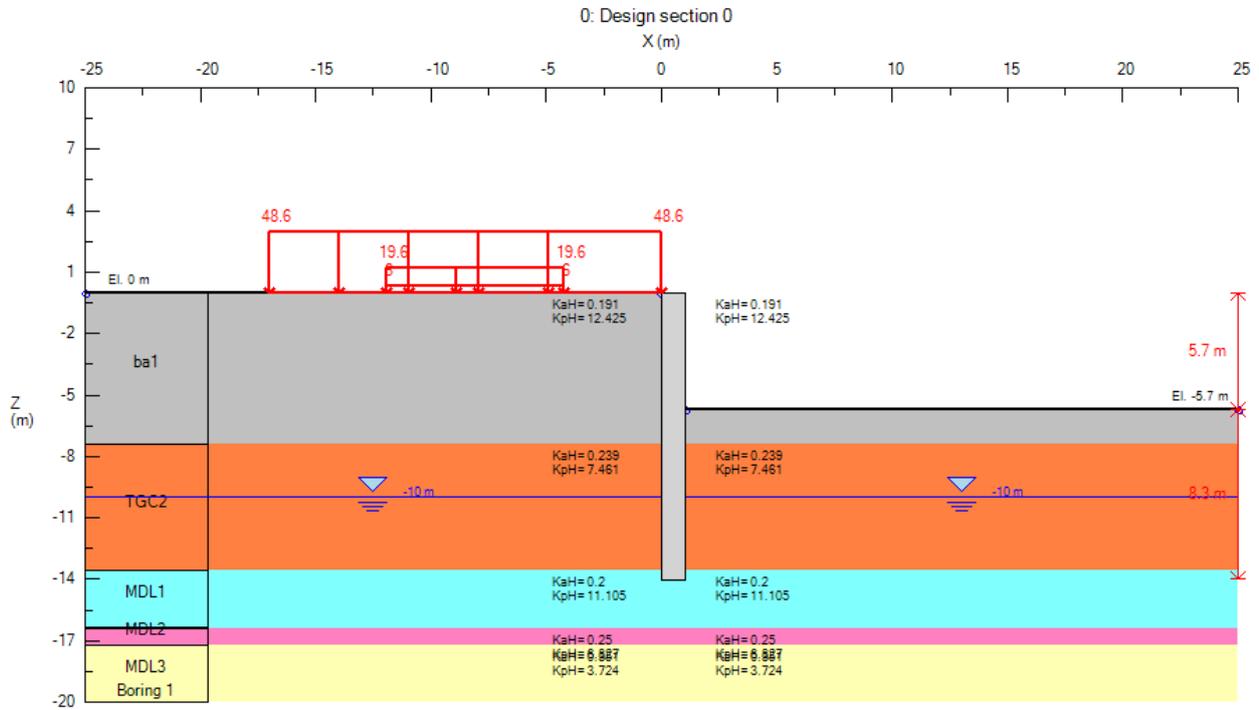


Figura 6: SPALLA 1 - STEP 2)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	19 di 56

### 5.3.2 PILA 1

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

#### PESO RILEVATO FERROVIARIO

$\gamma_b =$	20 kN/m <sup>3</sup>	(peso specifico rilevato ferroviario esistente)
$H_m =$	4.43 m	(altezza media rilevato ferroviario)
$L_m =$	20.5 m	(larghezza rilevato alla quota di testa della paratia)
$A_{rilevato} =$	64.2 m <sup>2</sup>	(area impronta trasversale rilevato ferroviario fino a quota testa paratia)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>62.6 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>		

#### PESO BALLAST

$\gamma_b =$	18 kN/m <sup>3</sup>	(peso specifico ballast)
$H_m =$	0.8 m	(altezza ballast)
$L_t =$	3.2 m	(larghezza ballast)
$\phi' =$	35°	(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	9.40 m	$(L_t + 2 \cdot H_m \cdot \tan \phi')$ (larghezza di diffusione del carico nel rilevato)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>4.9 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>		

#### CARICO VARIABILE DA TRAFFICO FERROVIARIO "TRENO SW2"

$q_{sw2} =$	150 kN/m <sup>2</sup>	RFI DTC SI CS MA IFS 001 A (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)
$\phi' =$	35°	(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	9.40 m	$((L_t + 2 \cdot 0.4) + 2 \cdot H_m \cdot \tan \phi')$ (larghezza di diffusione del carico nel ballast+rilevato)
		(RFI DTC SI CS MA IFS 001 A par. 3.8.1.3.2.1)
<b>**<math>Q_{sw2} =</math></b>	<b>16.0 kN/m</b>	<b>(sovraccarico ferroviario)</b>
<i>*Trattandosi di rilevato esistente si assume cautelativamente un valore di <math>\phi'</math> pari a 35°</i>		
<i>**Applicato ad intradosso ballast</i>		

La paratia è costituita da pali Ø1000mm posti ad interasse 1.2 m, di lunghezza L=16.0m. L'altezza di scavo è pari a 6.4 m dalla testa dei pali.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	20 di 56

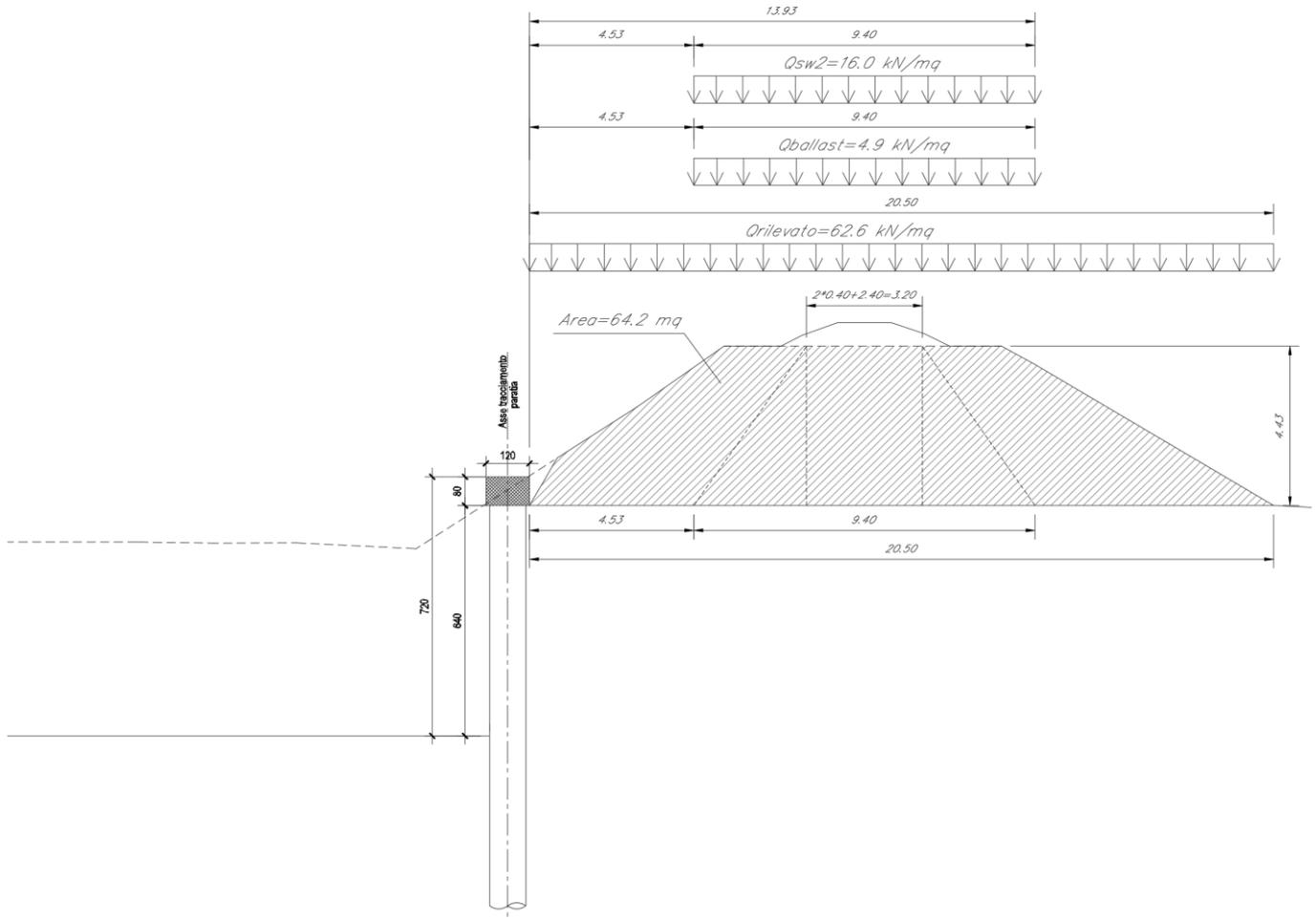


Figura 7: PILA 1 - Schema di calcolo

La fasi di calcolo risultano:

- STEP 0): Fase geostatica iniziale; la falda è posta a -10.0m dalla testa dei pali. Si considera agente il peso permanente del rilevato ferroviario e della sovrastruttura ferroviaria.
- STEP 1): Realizzazione dei pali della paratia. I carichi permanenti sono i medesimi della fase precedente, inoltre a monte si considera il carico variabile da traffico. A monte si considera in aggiunta il carico variabile dovuto al traffico ferroviario.
- STEP 2): Scavo fino alla profondità di 6.4m dalla testa dei pali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	21 di 56

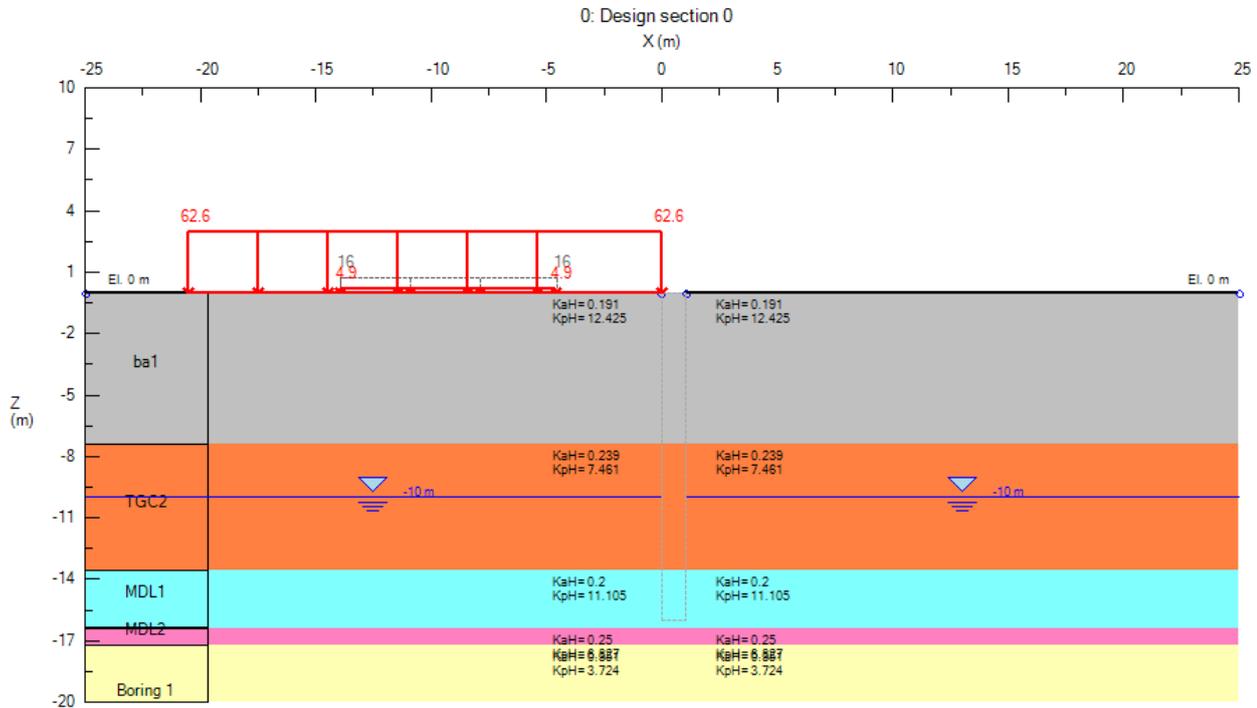


Figura 8: PILA 1 - STEP 0)

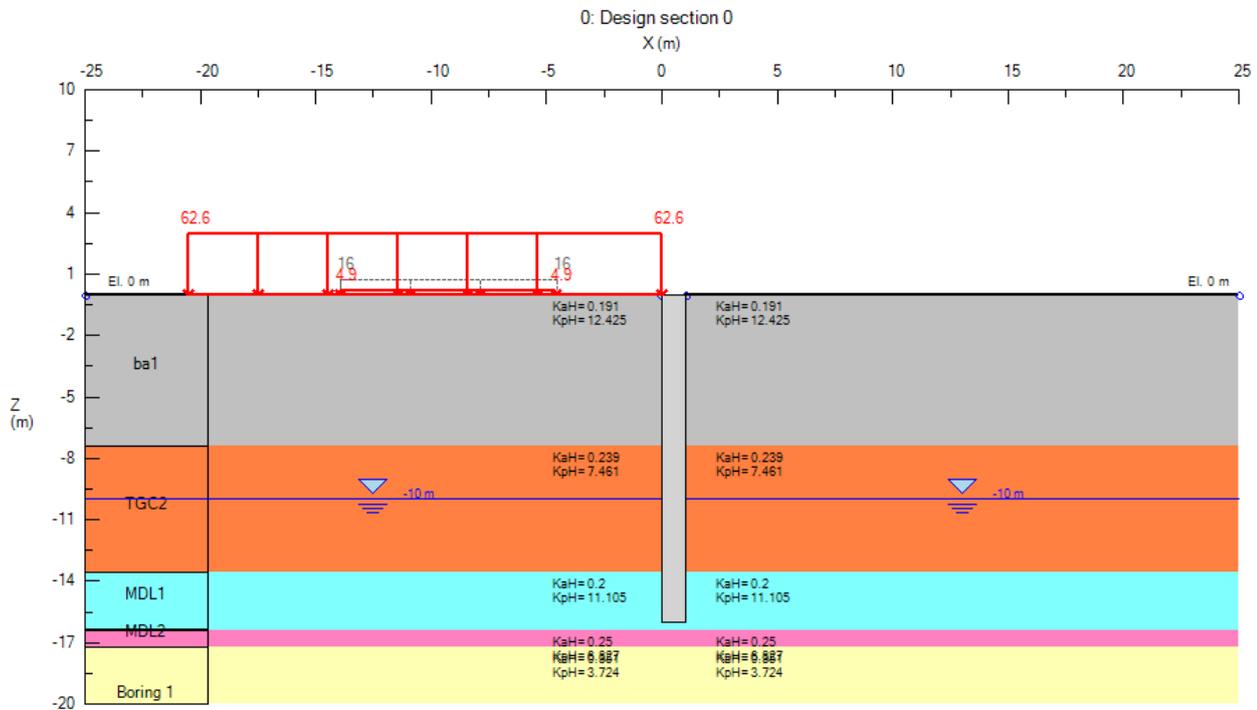


Figura 9: PILA 1 - STEP 1)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	22 di 56

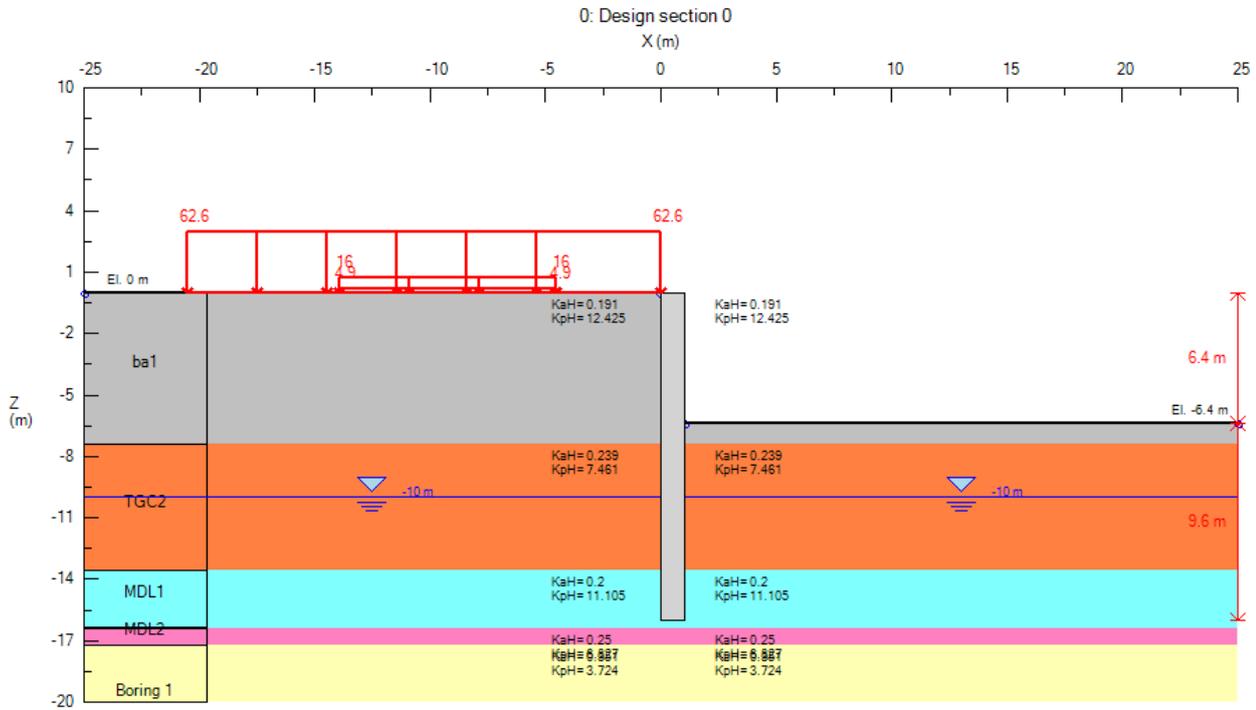


Figura 10: PILA 1 - STEP 2)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	23 di 56

### 5.3.3 SPALLA 2

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

PESO RILEVATO FERROVIARIO			
$\gamma_b =$	20 kN/m <sup>3</sup>		(peso specifico rilevato ferroviario esistente)
$H_m =$	4.8 m		(altezza media rilevato ferroviario)
$L_m =$	23.03 m		(larghezza rilevato alla quota di testa della paratia)
$A_{rilevato} =$	74.7 m <sup>2</sup>		(area impronta trasversale rilevato ferroviario fino a quota testa paratia)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>64.9 kN/m<sup>2</sup></b>		<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			
PESO BALLAST			
$\gamma_b =$	18 kN/m <sup>3</sup>		(peso specifico ballast)
$H_m =$	0.8 m		(altezza ballast)
$L_t =$	3.2 m		(larghezza ballast)
$\varphi' =$	35°		(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	9.92	$(L_t + 2 \cdot H_m \cdot \tan \varphi')$	(larghezza di diffusione del carico nel rilevato)
<b>*<math>Q_{eq} =</math></b>	<b>4.6 kN/m<sup>2</sup></b>		<b>(carico equivalente terreno a tergo paratia)</b>
<i>*Applicato ad intradosso ballast</i>			
CARICO VARIABILE DA TRAFFICO FERROVIARIO "TRENO SW2"			
$q_{sw2} =$	150 kN/m <sup>2</sup>		RFI DTC SI CS MA IFS 001 A (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)
$\varphi' =$	35°		(angolo d'attrito terreno rilevato)
$L_d =$	9.92 m	$((L_t + 2 \cdot 0.4) + 2 \cdot H_m \cdot \tan \varphi')$	(larghezza di diffusione del carico nel ballast+rilevato)
			(RFI DTC SI CS MA IFS 001 A par. 3.8.1.3.2.1)
<b>**<math>Q_{sw2} =</math></b>	<b>15.1 kN/m</b>		<b>(sovraccarico ferroviario)</b>
<i>*Trattandosi di rilevato esistente si assume cautelativamente un valore di <math>\varphi'</math> pari a 35°</i>			
<i>**Applicato ad intradosso ballast</i>			

La paratia è costituita da pali Ø800mm posti ad interasse 1.0 m, di lunghezza L=10.0m.

Come si evince dalla sviluppata della paratia (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.PZ.VI.04.0.0.002 - Opere provvisionali e pianta scavi Spalla S2 e Pila P1), l'altezza massima dello scavo risulta pari a 4.2 m dalla testa dei pali nel tratto di paratia che affianca il canale esistente.

Tuttavia, nel dimensionamento dell'opera, si considera la sezione con altezza massima nel tratto in cui la paratia affianca la linea ferroviaria esistente, per tener conto anche dei sovraccarichi dovuti all'esercizio ferroviario. In tale situazione l'altezza di scavo è pari a 4.1 m dalla testa dei pali.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	24 di 56

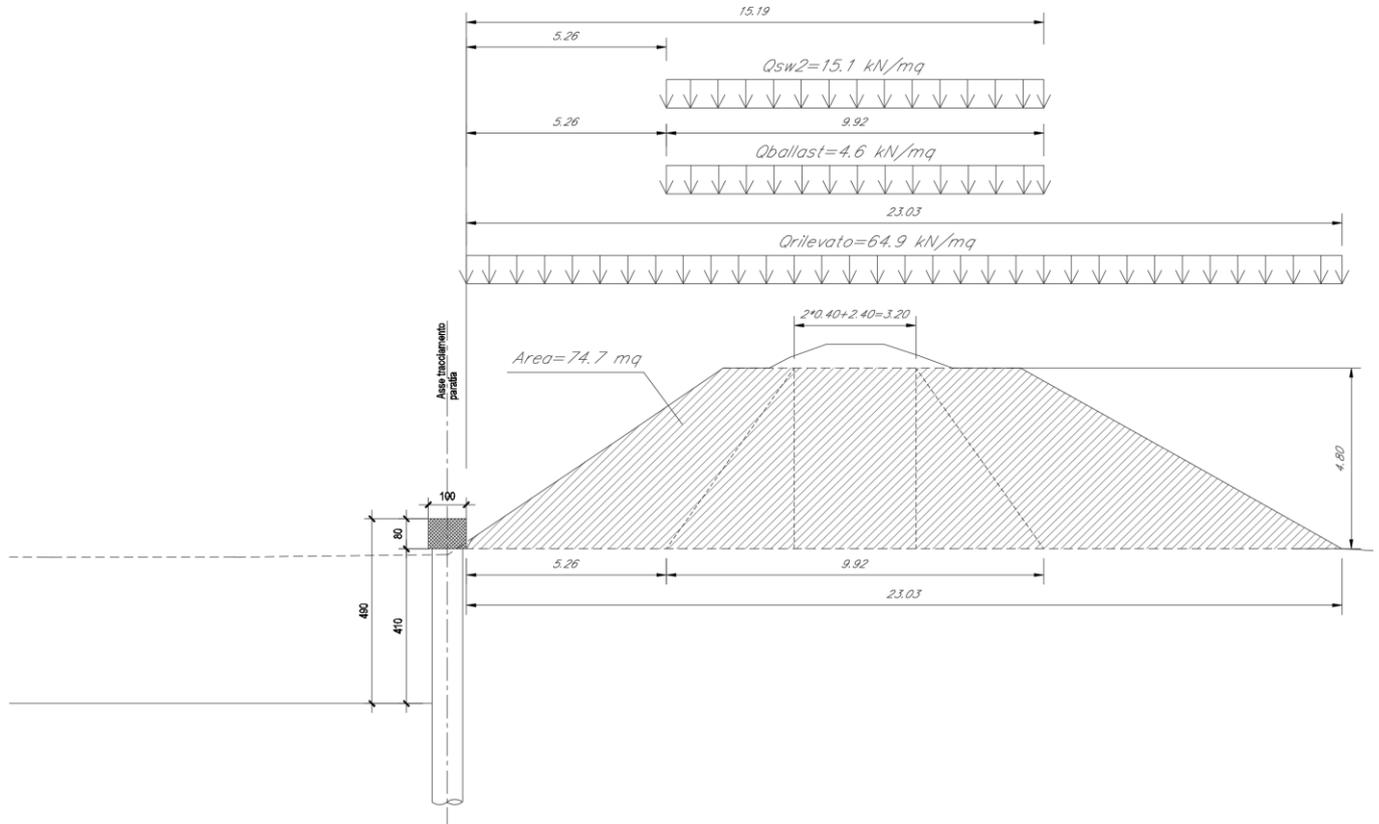


Figura 11: SPALLA 2 - Schema di calcolo

La fasi di calcolo risultano:

- STEP 0): Fase geostatica iniziale; la falda è posta a -10.0m dalla testa dei pali. Si considera agente il peso permanente del rilevato ferroviario e della sovrastruttura ferroviaria.
- STEP 1): Realizzazione dei pali della paratia. I carichi permanenti sono i medesimi della fase precedente, inoltre a monte si considera il carico variabile da traffico. A monte si considera in aggiunta il carico variabile dovuto al traffico ferroviario.
- STEP 2): Scavo fino alla profondità di 6.4m dalla testa dei pali. I carichi sono i medesimi della fase precedente.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	25 di 56

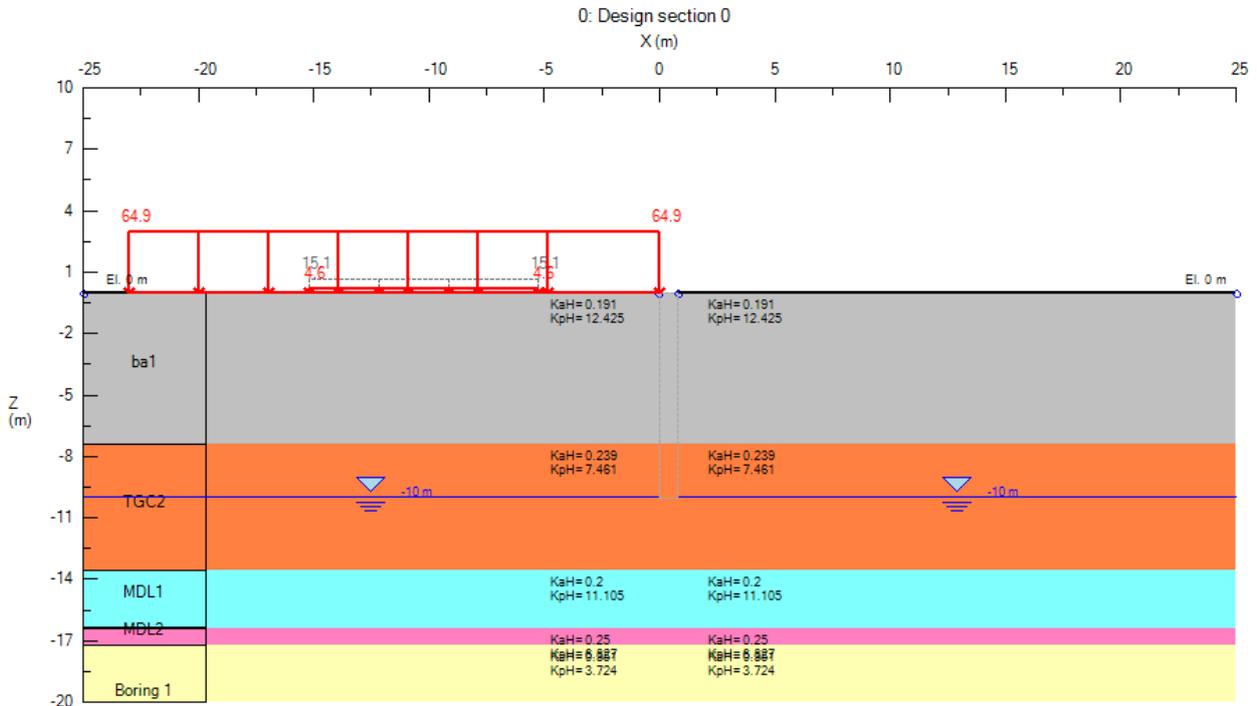


Figura 12: SPALLA 2 - STEP 0)

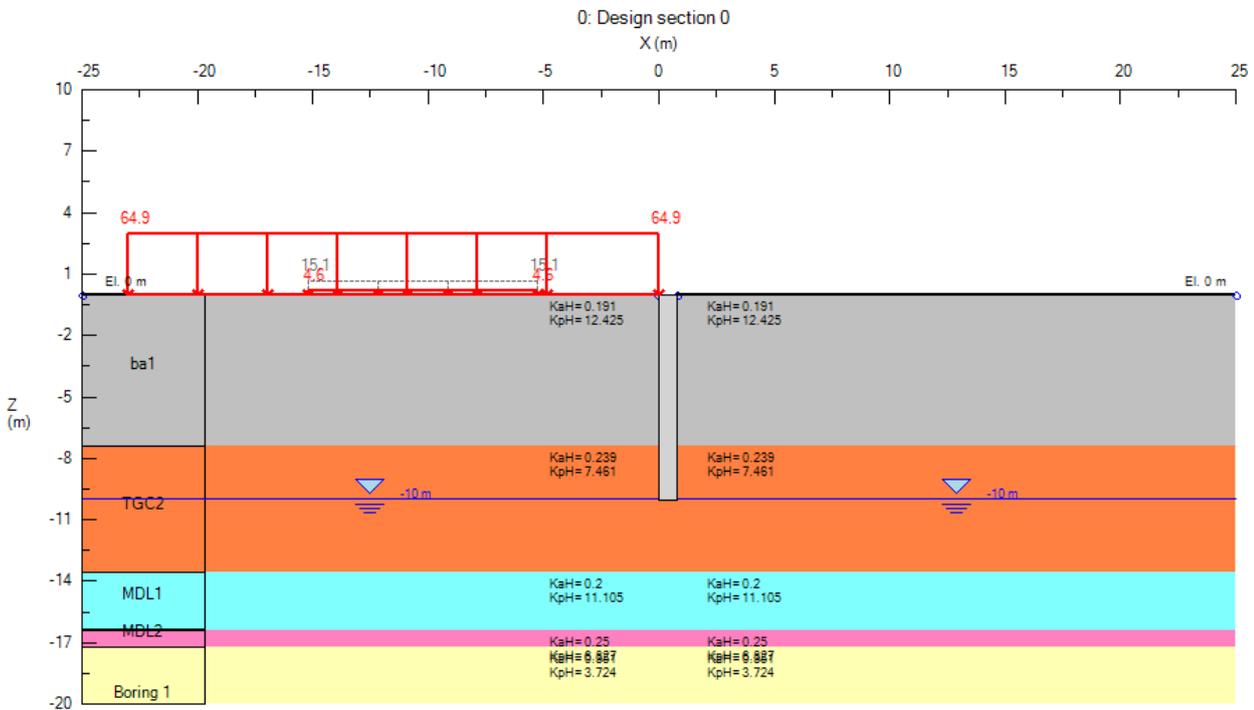


Figura 13: SPALLA 2 - STEP 1)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	26 di 56

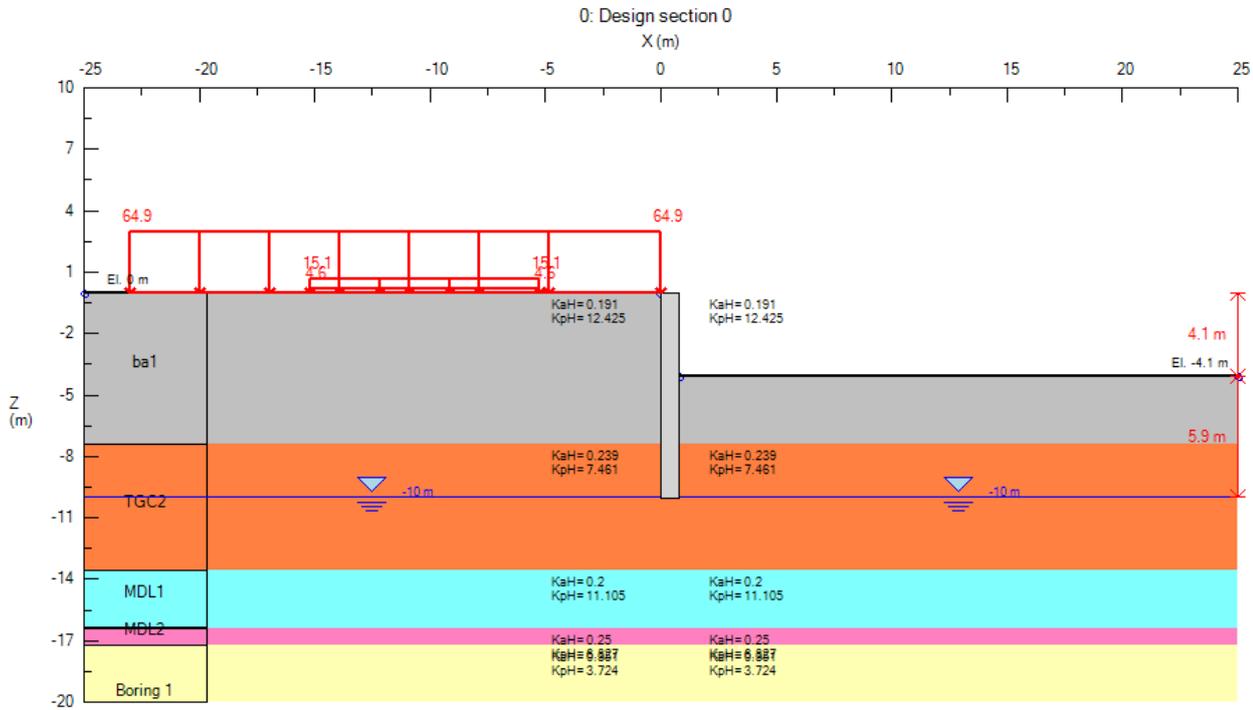


Figura 14: SPALLA 2 - STEP 2)

## 6 RISULTATI DELLE ANALISI

### 6.1 SPALLA 1

#### 6.1.1 VERIFICHE STRUTTURALI - PALI

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

<b>PALI</b>	$M_{max}$ (kNm/m)	$M^*_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN/m)	$T^*_{max}$ (kN)
SLE_max	326	392	98	118
SLU (A1+M1+R1)_max	425	510	128	154

con:

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

$M^*_{max}$  = sollecitazione massima di momento flettente sul singolo palo (considerando un interasse di 1.2 m);

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

$T^*_{max}$  = sollecitazione massima di taglio sul singolo palo (considerando un interasse di 1.2 m).

L'armatura dei pali presenta un cambio di armatura longitudinale ad una profondità di 9.50m, mentre l'armatura trasversale è costante lungo tutta la lunghezza del palo; si riportano di seguito le sollecitazioni agente a tali profondità in termini di momento flettente.

<b>PALI</b>	$M_{(h=9.50m)}$ (kNm/m)	$M^*_{(h=9.50m)}$ (kNm)
SLE_(h=9.50m)	269	322
SLU (A1+M1+R1)_(h=9.50m)	350	420

con:

$M_{(h=9.50m)}$  = sollecitazione di momento flettente al metro lineare di paratia ad una profondità di 9.50m dalla testa dei pali;

$M^*_{(h=9.50m)}$  = sollecitazione di momento flettente sul singolo palo (considerando un interasse di 1.2 m) ad una profondità di 9.50m dalla testa dei pali;

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	28 di 56

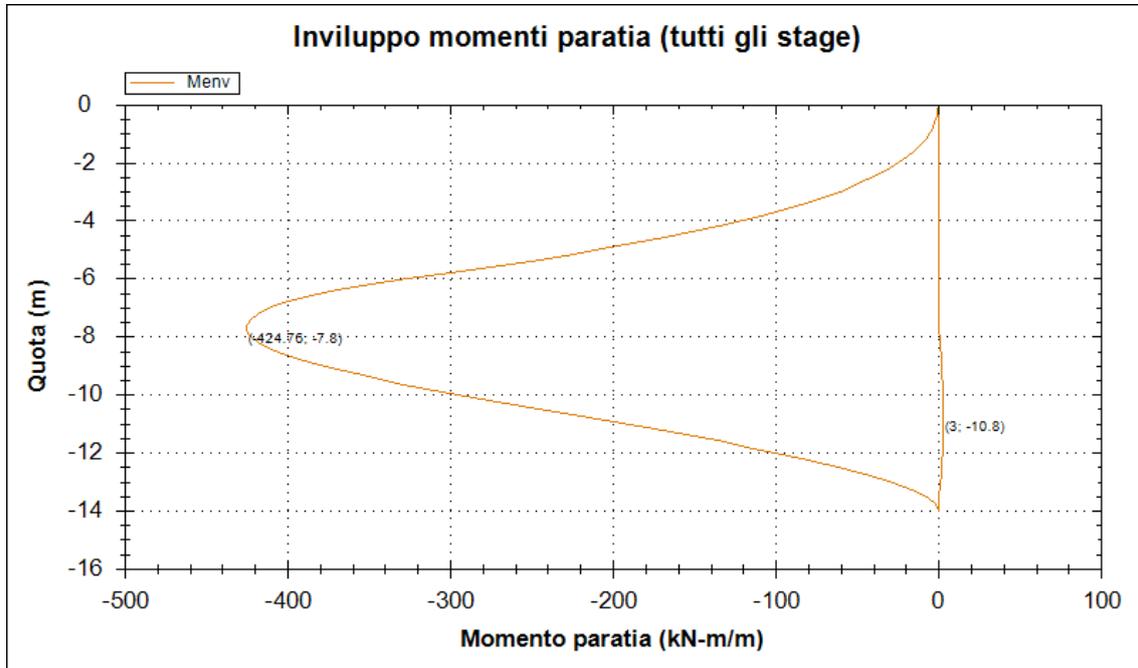


Figura 15: SPALLA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLU (A1+M1+R1)

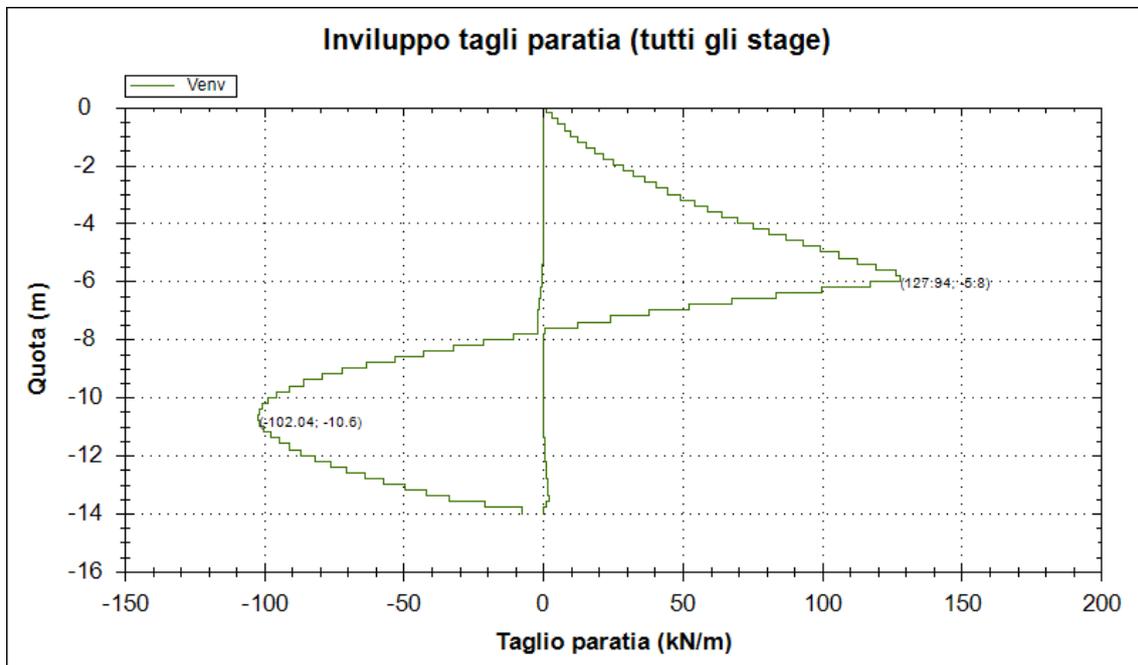


Figura 16: SPALLA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	29 di 56

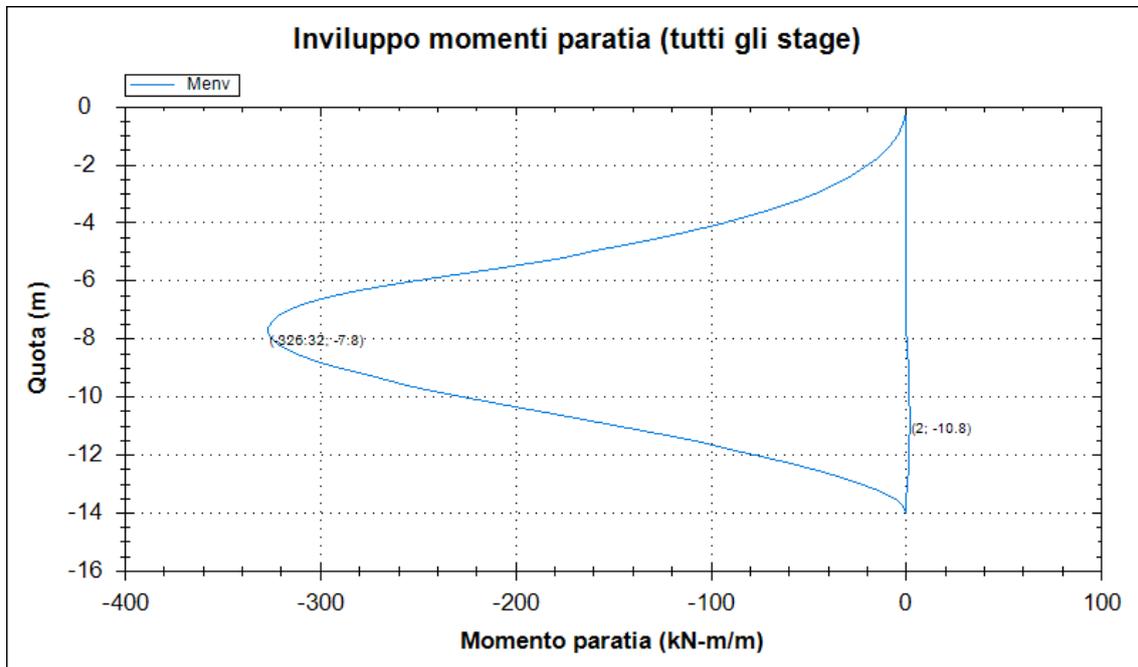


Figura 17: SPALLA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLE

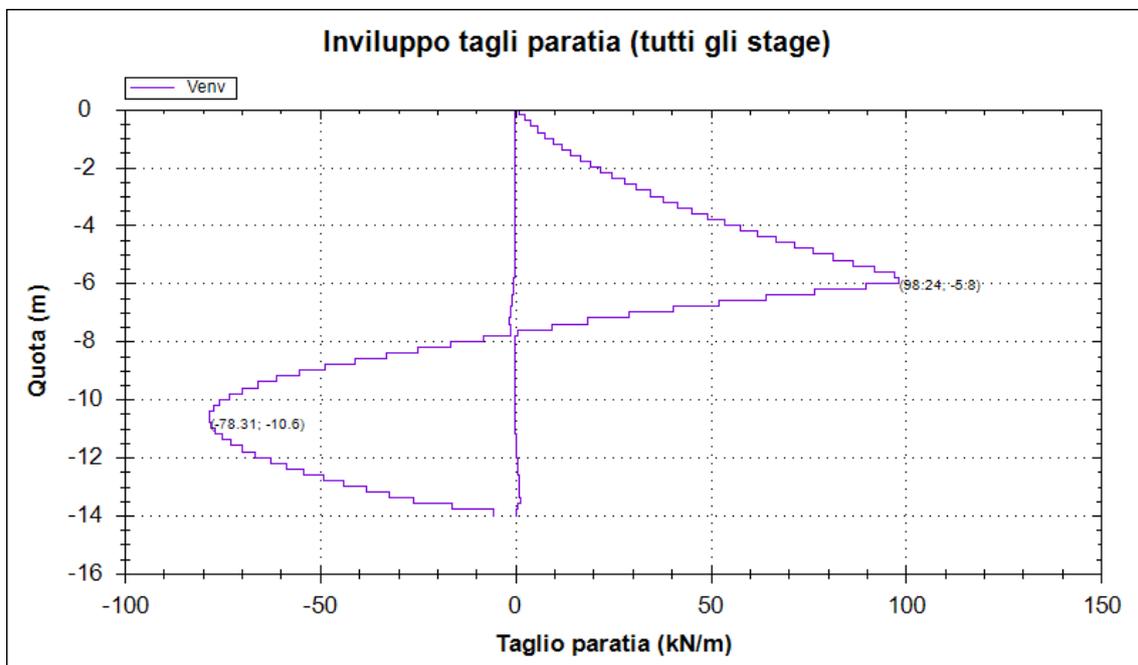


Figura 18: SPALLA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLE

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	30 di 56

La sezione trasversale del palo Ø1000mm presenta la seguente armatura longitudinale:

- 22Ø22 fino ad una profondità di 9.5 m dalla testa del palo;
- 22Ø20 per la restante lunghezza di palo;

L'armatura trasversale è costituita da una spirale:

- Ø12/20.

### Verifica a pressoflessione (SLU - A1+M1+R1) – armatura longitudinale 22Ø22

Verifica C.A. S.L.U. - File: Spalla1\_palo1000\_22Fi22

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

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

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 500 [mm]  
Raggio interno: 0 [mm]  
N° barre uguali: 22  
Diametro barre: 22 [mm]  
Copriferro (baric.): 83 [mm]

N° barre: 0 Zoom

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

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 510 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

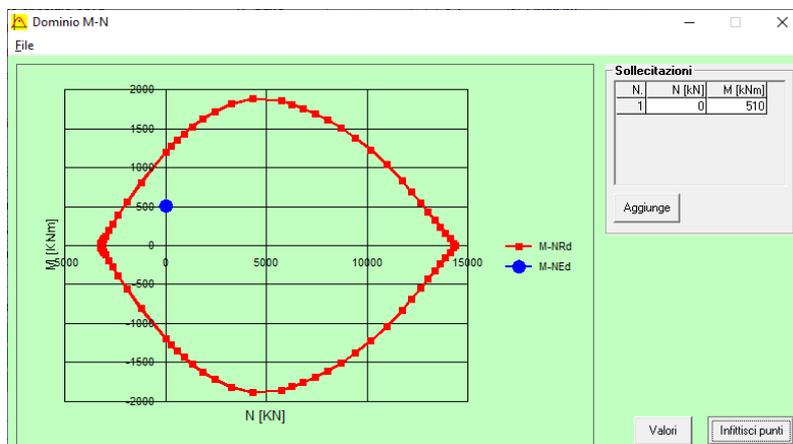
Precompresso

Materiali

B450C C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
E<sub>s</sub>: 200 000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 14.17 N/mm<sup>2</sup>  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6  
τ<sub>c1</sub>: 1.829

M<sub>xRd</sub>: 1 204 kNm  
σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 10.16 ‰  
d: 917 mm  
x: 235 x/d: 0.2563  
δ: 0.7603



$$M_{Ed} = 510 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1204 \text{ kNm.}$$

$$FS = M_{Rd}/M_{Ed} = 2.36$$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	31 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLE) – armatura longitudinale 22Ø22**

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 500 [mm]  
 Raggio interno: 0 [mm]  
 N° barre uguali: 22  
 Diametro barre: 22 [mm]  
 Copriferro (baric.): 83 [mm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 510 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**Materiali**

B450C C25/30

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

**P.to applicazione N**

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

**Metodo di calcolo**

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

**Verifica**

$\sigma_c$ : -5.875 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 179.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : 0.8965 ‰  
 d: 917 mm  
 x: 302.2 mm x/d: 0.3295  
 $\delta$ : 0.8519

Vertici: 52  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

$$\sigma_s = 179.3 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 313.4 \text{ MPa}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	32 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLU - A1+M1+R1) – armatura longitudinale 22Ø20**

Verifica C.A. S.L.U. - File: Spalla1\_palo1000\_22FI20

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 500 [mm]  
Raggio interno 0 [mm]  
N° barre uguali 22  
Diametro barre 20 [mm]  
Copriferro (baric.) 83 [mm]

N° barre 0 Zoom

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 420 322 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
 Fletta  Deviata

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

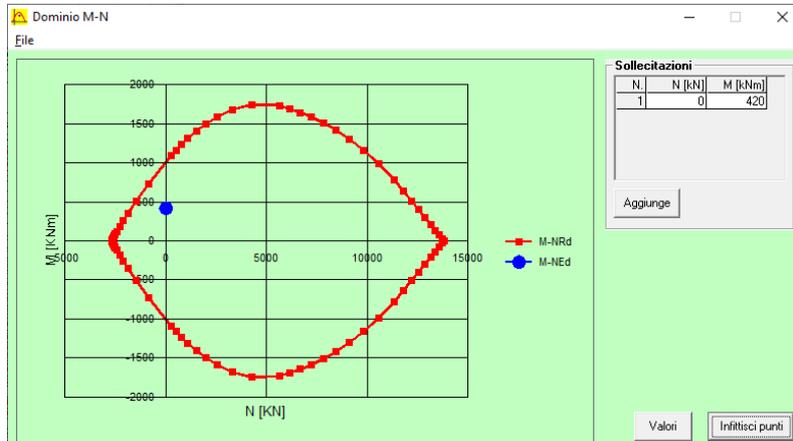
Precompresso

Materiali

B450C C25/30

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

$M_{xRd}$  1 020 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  11.2 ‰  
d 917 mm  
x 218.3 x/d 0.238  
 $\delta$  0.7375



$$M_{Ed} = 420 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1020 \text{ kNm.}$$

$$FS = M_{Rd}/M_{Ed} = 2.43$$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	33 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLE) – armatura longitudinale 22Ø20**

Verifica C.A. S.L.U. - File: Spalla1\_palo1000\_22Fi20

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 500 [mm]  
Raggio interno 0 [mm]  
N° barre uguali 22  
Diametro barre 20 [mm]  
Copriferro (baric.) 83 [mm]

N° barre 0 Zoom

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 420 322 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

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

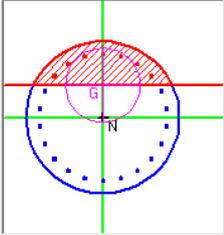
Materiali

B450C C25/30

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

$\sigma_c$  -5.336 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  175.1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$  0.8757 ‰  
d 917 mm  
x 287.6 x/d 0.3137  
 $\delta$  0.8321

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 4  
 Precompresso



$$\sigma_s = 175.1 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 313.4 \text{ MPa}$$

La verifica risulta soddisfatta.

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	34 di 56

**Verifica a taglio (SLU - A1+M1+R1)**

$$V_{Ed} = 154 \text{ kNm} < V_{Rd} = 305 \text{ kNm.}$$

$$FS = V_{Rd}/V_{Ed} = 1.98$$

<b>Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio (D.M. 14/01/2008)</b>			
classe cls	$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
resist. Caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
	$f_{cd}$	14	N/mm <sup>2</sup>
diametro	$\Phi$	1000	mm
Area sezione	A	785398	mm <sup>2</sup>
copriferro	c	83	mm
Area sezione rettangolare equivalente	$A_{eq}$	645108	mm <sup>2</sup>
altezza utile equivalente	d	765	mm
larghezza equivalente	$b_w$	843	mm
altezza equivalente	$h_{eq}$	932	mm
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	$N$	0	N
	$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>
	$\alpha_{cp}$	1.00	
Acciaio	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
B450C	$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>
diametro staffe (spirale)	$\varnothing_w$	12	mm
Area staffa (spirale)	$A_{\varnothing_w}$	113	mm <sup>2</sup>
0.9 d	z	689	mm
passo spirale	$s_w$	200	mm
	n° bracci	2	
angolo di inclinazione biella compressa	$\theta$	45.0	°
deve essere compreso tra 1 e 2.5	$\cot(\theta)$	1.00	
angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo	$\alpha$	90	°
	$\cot(\alpha)$	0.00	
	$As_w / s_w$	1.131	mm <sup>2</sup> /mm
Taglio resistente per "taglio trazione"	$V_{Rsd}$	305	kN
Taglio resistente per "taglio compressione"	$V_{Rcd}$	2048	kN
taglio resistente	$V_{Rd}$	305	kN

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	35 di 56

### 6.1.2 VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO

Il cordolo della paratia presenta dimensioni BxH=1.2x0.8m 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.

### 6.1.3 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	3352
Spinta passiva mobilitata	930
FS % passiva mobilitata	<b>3.6</b>

avendo posto:

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

oooo

La verifica di stabilità globale della paratia è stata condotta ai sensi del DM 2008 nella configurazione di coefficienti parziali (A+M2+R2). Il coefficiente di sicurezza risulta pari a 2.53 e quindi superiore al minimo richiesto (pari a 1.1); la verifica risulta soddisfatta.

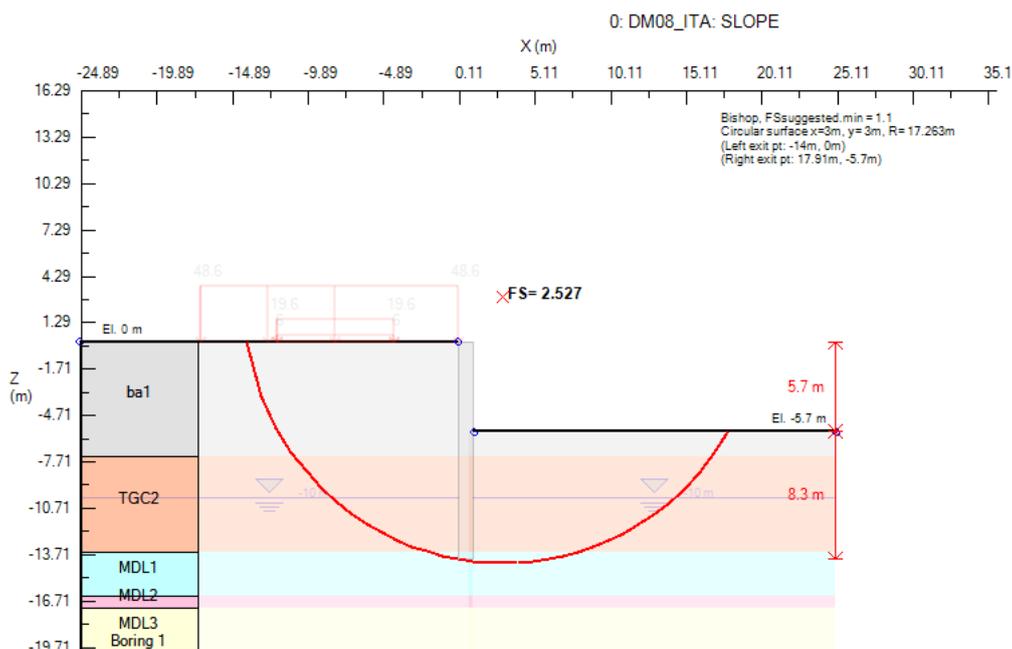


Figura 19: SPALLA 1 – Verifica di stabilità globale allo SLU (A1+M2+R2)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	36 di 56

## 6.1.4 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).

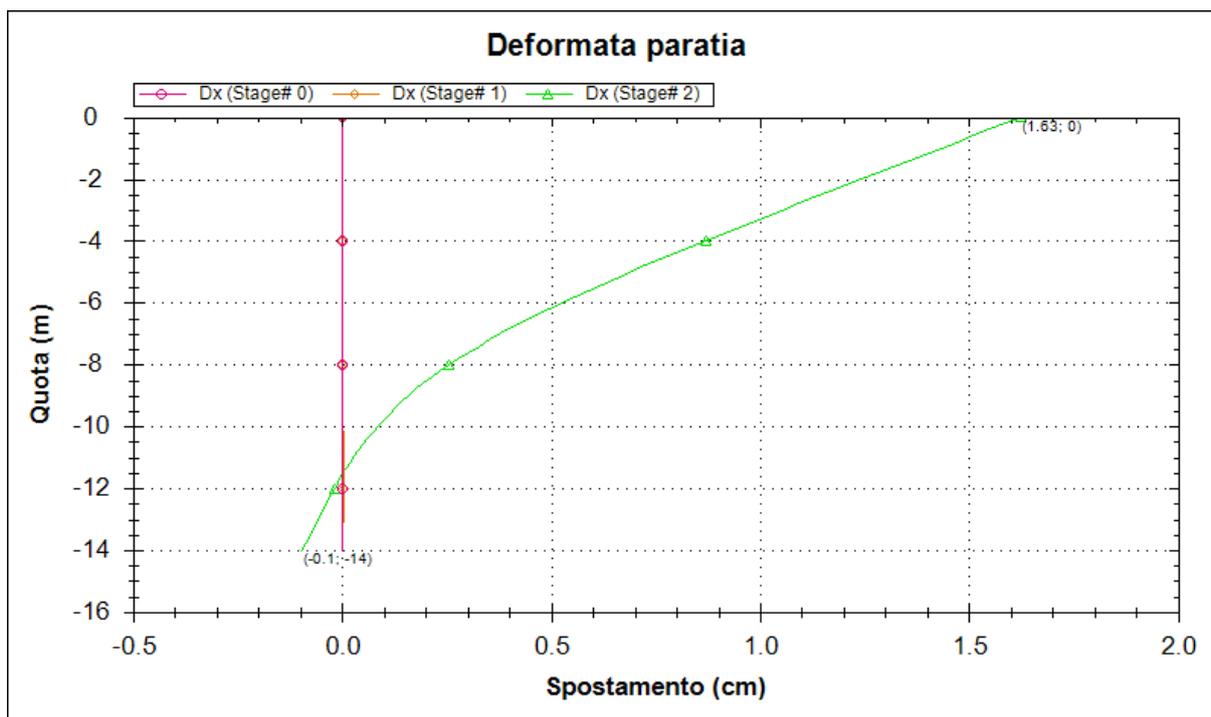


Figura 20: SPALLA 1 - Diagramma delle deformazioni allo SLE

SLE	
Spostamento orizzontale massimo $\delta_{h\_max}$ (cm)	1.63

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	37 di 56

### 6.1.5 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 inferiori a 0.8 cm e dell'ordine di qualche millimetro a partire da una distanza di circa 6m dalla paratia stessa.

Quindi tenuto conto che l'asse del binario più vicino si trova ad una distanza mai inferiore ai 7.0 m, si può concludere che i cedimenti massimi attesi non pregiudicano l'esercizio ferroviario.

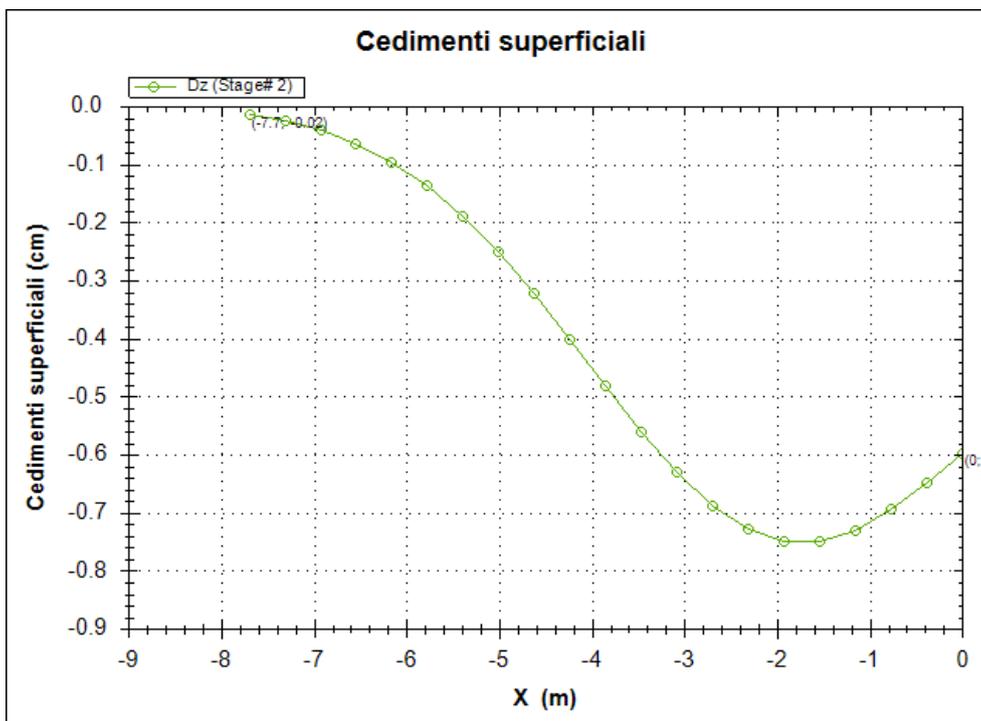


Figura 21: SPALLA 1 – Cedimenti verticali del terreno

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	38 di 56

## 6.2 PILA 1

### 6.2.1 VERIFICHE STRUTTURALI - PALI

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

PALI	$M_{max}$ (kNm/m)	$M^*_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN/m)	$T^*_{max}$ (kN)
SLE_max	484	581	131	157
SLU (A1+M1+R1)_max	630	756	170	205

con:

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

$M^*_{max}$  = sollecitazione massima di momento flettente sul singolo palo (considerando un interasse di 1.2 m);

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

$T^*_{max}$  = sollecitazione massima di taglio sul singolo palo (considerando un interasse di 1.2 m).

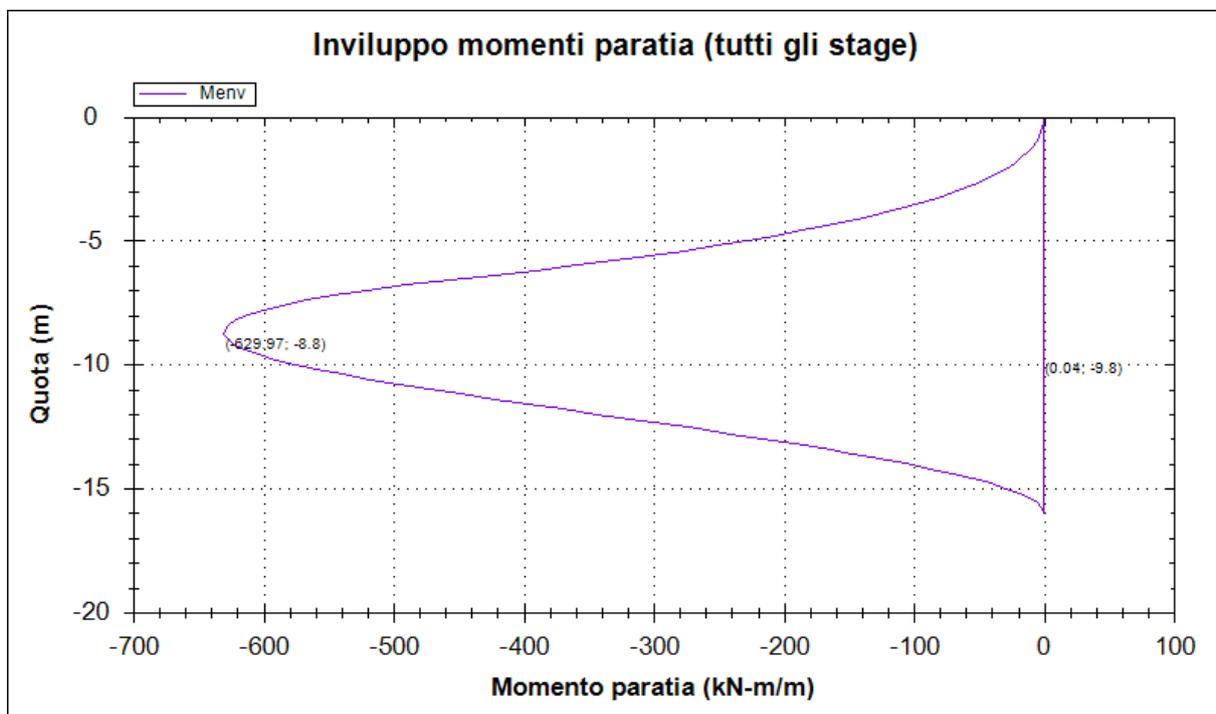


Figura 22: PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	39 di 56

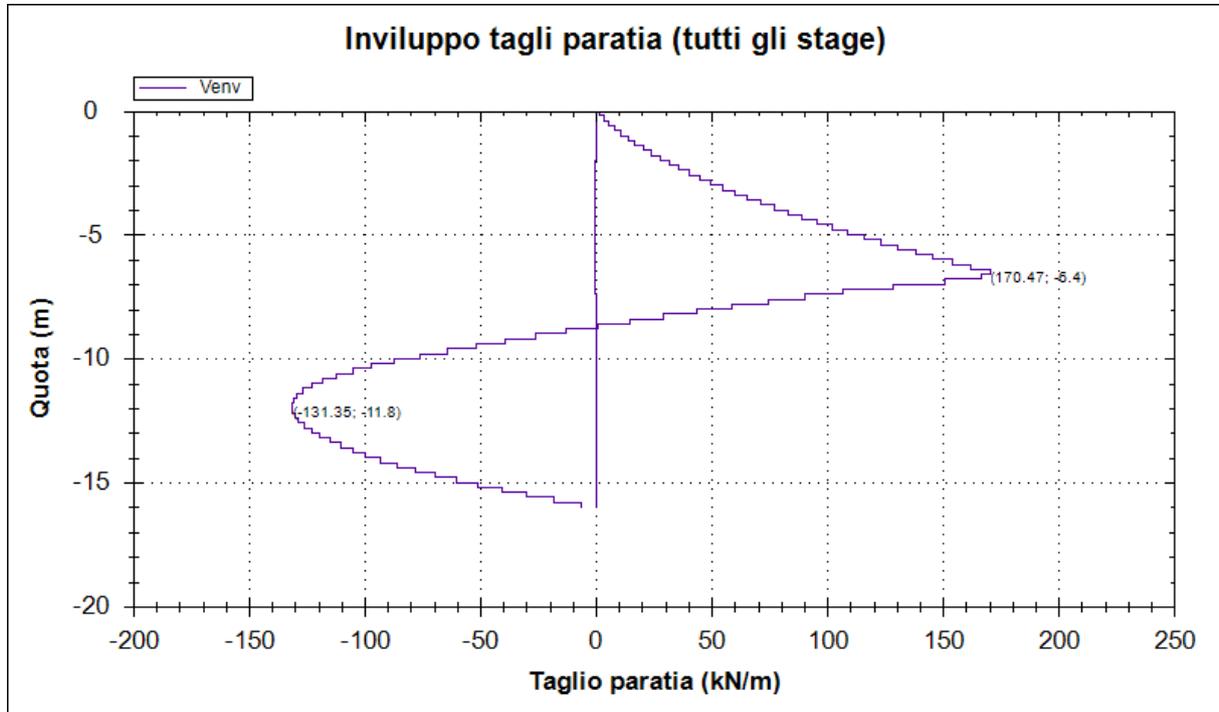


Figura 23: PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLU (A1+M1+R1)

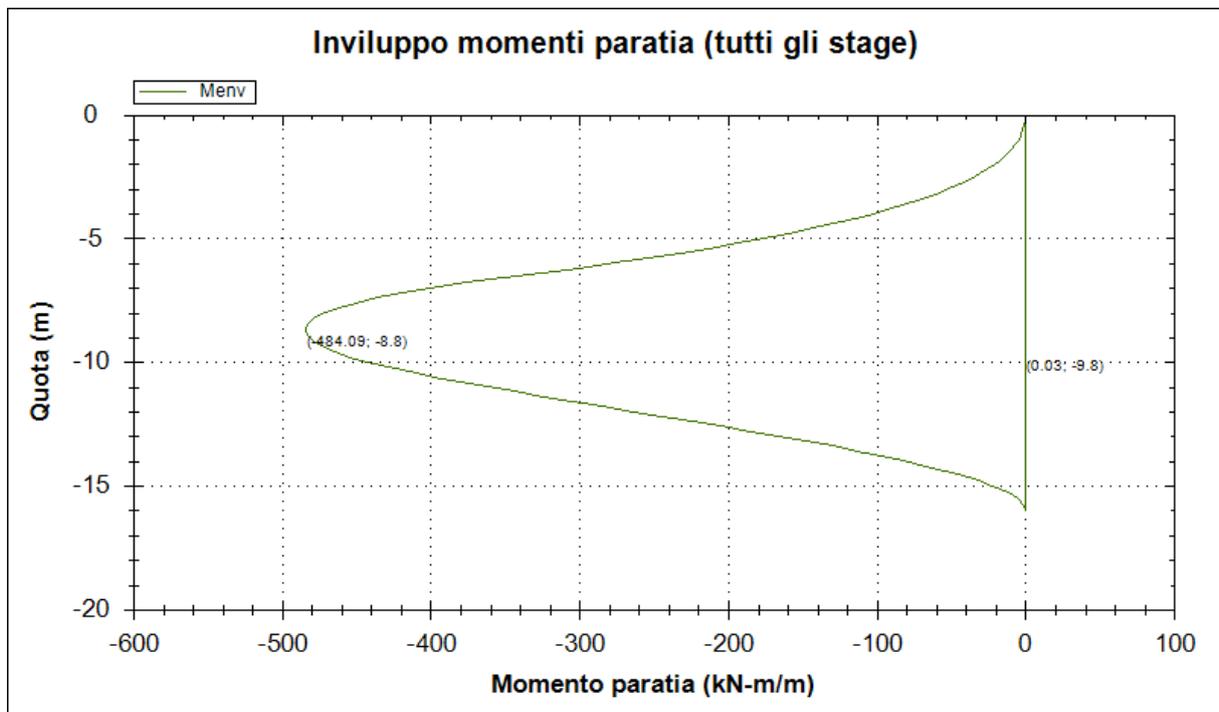


Figura 24: PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLE

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	40 di 56

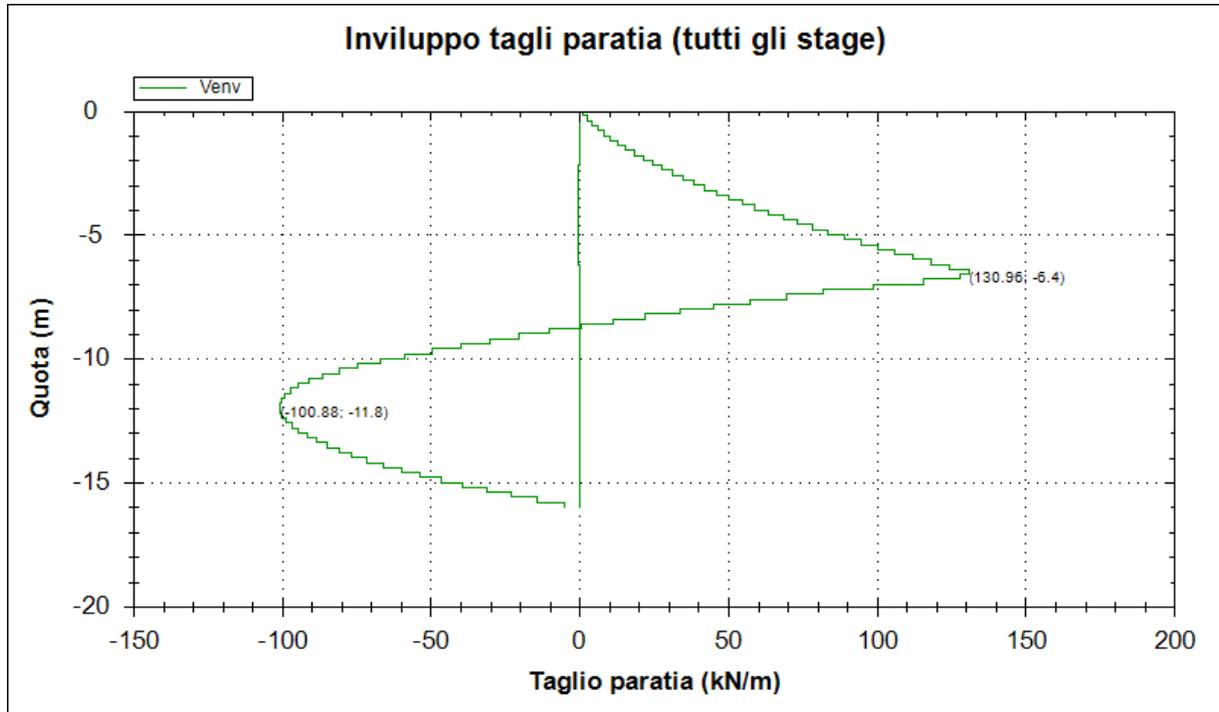


Figura 25: PILA 1 – Diagramma dell'involuppo del taglio alla SLE

La sezione trasversale del palo  $\varnothing 1000\text{mm}$  presenta la seguente armatura longitudinale:

- 22 $\varnothing 24$ ;

L'armatura trasversale è costituita da una spirale:

- $\varnothing 12/20$ .

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	41 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLU - A1+M1+R1)**

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila1\_palo1000\_22Fi24

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

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

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 500 [mm]  
Raggio interno: 0 [mm]  
N° barre uguali: 22  
Diametro barre: 24 [mm]  
Copriferro (baric.): 84 [mm]

N° barre: 0 Zoom

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 756 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

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

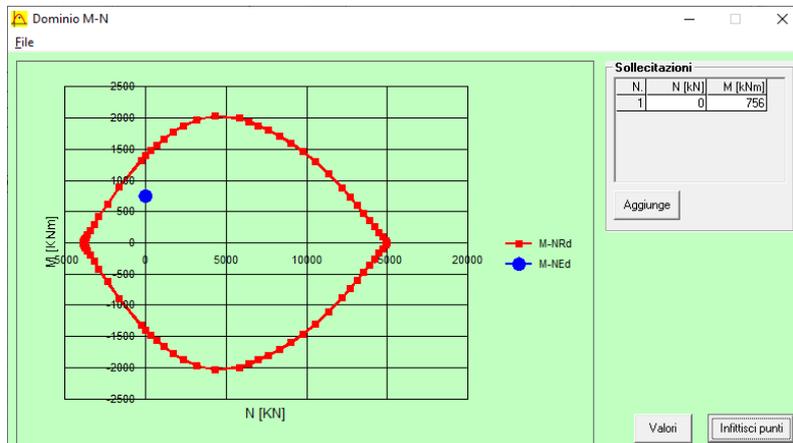
Precompresso

**Materiali**

B450C C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200 000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

M<sub>xRd</sub>: 1 400 kN m  
 σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub>: 9.212 ‰  
 d: 916 mm  
 x: 252.2 x/d: 0.2753  
 δ: 0.7842



$M_{Ed} = 756 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1400 \text{ kNm}.$

$FS = M_{Rd}/M_{Ed} = 1.85$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	42 di 56

### Verifica a pressoflessione (SLE)

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila1\_palo1000\_22Fi24

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

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

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 500 [mm]  
 Raggio interno: 0 [mm]  
 N° barre uguali: 22  
 Diametro barre: 24 [mm]  
 Copriferro (baric.): 84 [mm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipologia Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	756	581	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

**P.to applicazione N**

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

**Metodo di calcolo**

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

**Materiali**

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{c1}$ 1.829

$\sigma_c$  -7.954 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  227.1 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  1.136 ‰  
 d 916 mm  
 x 315.5 x/d 0.3444  
 $\delta$  0.8705

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

$$\sigma_s = 227.1 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 313.4 \text{ MPa}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	43 di 56

**Verifica a taglio (SLU - A1+M1+R1)**

$$V_{Ed} = 205 \text{ kNm} < V_{Rd} = 305 \text{ kNm.}$$

$$FS = V_{Rd}/V_{Ed} = 1.49$$

Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio (D.M. 14/01/2008)			
classe cls	$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
resist. Caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
	$f_{cd}$	14	N/mm <sup>2</sup>
diametro	$\Phi$	1000	mm
Area sezione	A	785398	mm <sup>2</sup>
copriferro	c	83	mm
Area sezione rettangolare equivalente	$A_{eq}$	645108	mm <sup>2</sup>
altezza utile equivalente	d	765	mm
larghezza equivalente	$b_w$	843	mm
altezza equivalente	$h_{eq}$	932	mm
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	0	N
	$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>
	$\alpha_{cp}$	1.00	
Acciaio	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
B450C	$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>
diametro staffe (spirale)	$\varnothing_w$	12	mm
Area staffa (spirale)	$A_{\varnothing_w}$	113	mm <sup>2</sup>
0.9 d	z	689	mm
passo spirale	$s_w$	200	mm
	n° bracci	2	
angolo di inclinazione biella compressa	$\theta$	45.0	°
deve essere compreso tra 1 e 2.5	$\cot(\theta)$	1.00	
angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo	$\alpha$	90	°
	$\cot(\alpha)$	0.00	
	$As_w / s_w$	1.131	mm <sup>2</sup> /mm
Taglio resistente per "taglio trazione"	$V_{Rsd}$	305	kN
Taglio resistente per "taglio compressione"	$V_{Rcd}$	2048	kN
taglio resistente	$V_{Rd}$	305	kN

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	44 di 56

## 6.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO

Il cordolo della paratia presenta dimensioni  $B \times H = 1.2 \times 0.8 \text{ m}$  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.

## 6.2.3 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	4382
Spinta passiva mobilitata	1188
FS % passiva mobilitata	<b>3.7</b>

avendo posto:

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

oooo

La verifica di stabilità globale della paratia è stata condotta ai sensi del DM 2008 nella configurazione di coefficienti parziali (A+M2+R2). Il coefficiente di sicurezza risulta pari a 2.49 e quindi superiore al minimo richiesto (pari a 1.1); la verifica risulta soddisfatta.

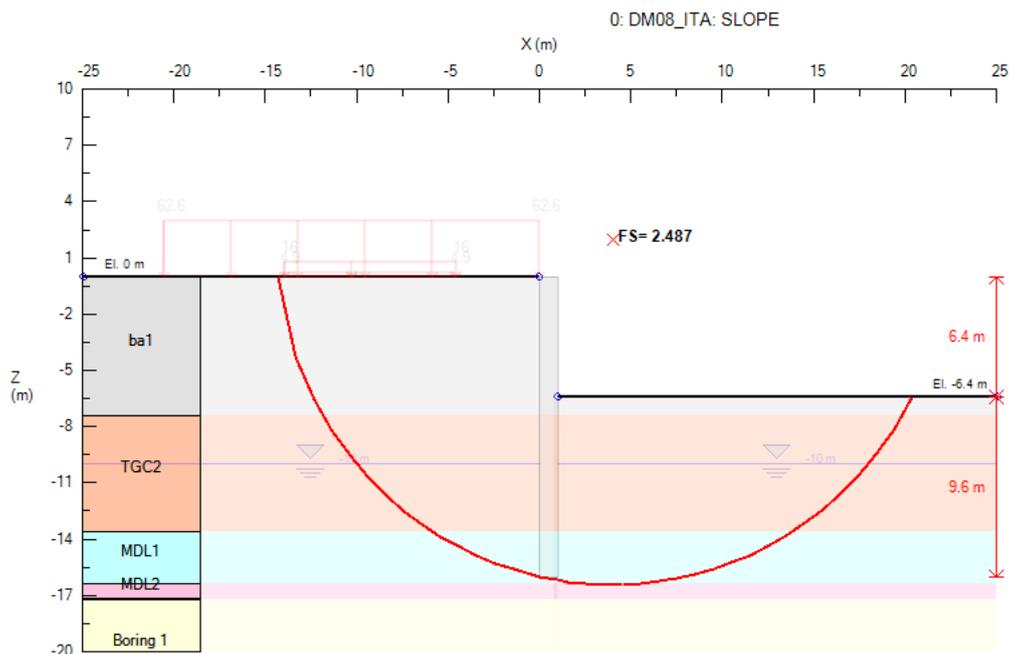


Figura 26: PILA 1 – Verifica di stabilità globale allo SLU (A1+M2+R2)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	45 di 56

## 6.2.4 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).

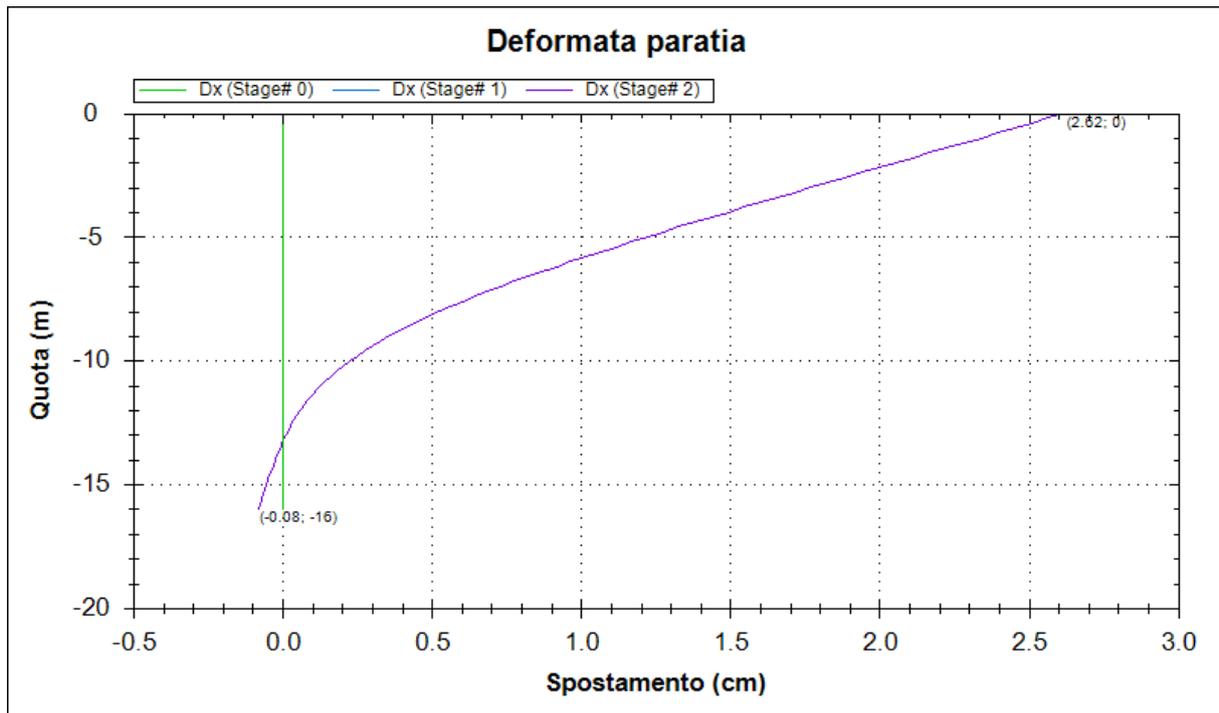


Figura 27: PILA 1 - Diagramma delle deformazioni allo SLE

SLE	
Spostamento orizzontale massimo $\delta_{h\_max}$ (cm)	2.62

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	46 di 56

### 6.2.5 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 inferiori a 1.0 cm e dell'ordine di qualche millimetro a partire da una distanza di circa 6-7 m dalla paratia stessa.

Quindi tenuto conto che l'asse del binario più vicino si trova ad una distanza mai inferiore ai 8.5 m, si può concludere che i cedimenti massimi attesi non pregiudicano l'esercizio ferroviario.

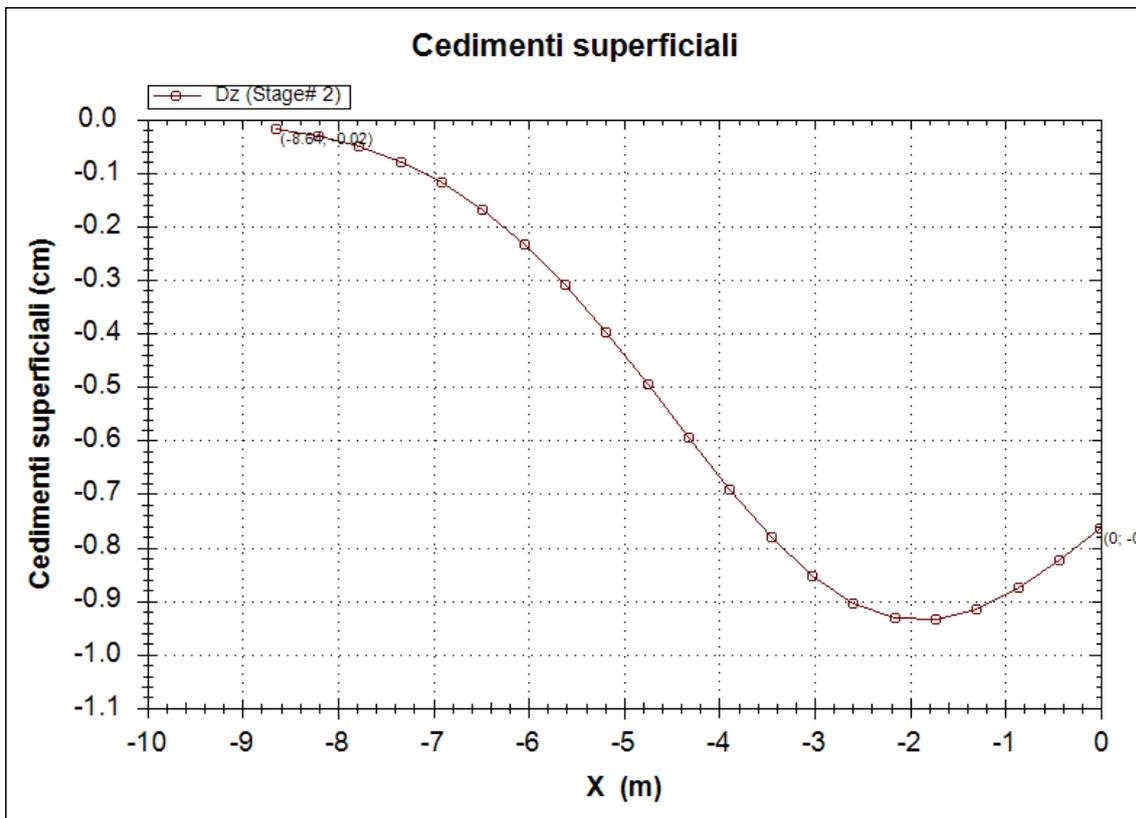


Figura 28: PILA 1 – Cedimenti verticali del terreno

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	47 di 56

## 6.3 SPALLA 2

### 6.3.1 VERIFICHE STRUTTURALI - PALI

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

PALI	$M_{max}$ (kNm/m)	$M^*_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN/m)	$T^*_{max}$ (kN)
SLE_max	167	167	66	66
SLU (A1+M1+R1)_max	218	218	86	86

con:

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

$M^*_{max}$  = sollecitazione massima di momento flettente sul singolo palo (considerando un interasse di 1.0 m);

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

$T^*_{max}$  = sollecitazione massima di taglio sul singolo palo (considerando un interasse di 1.0 m).

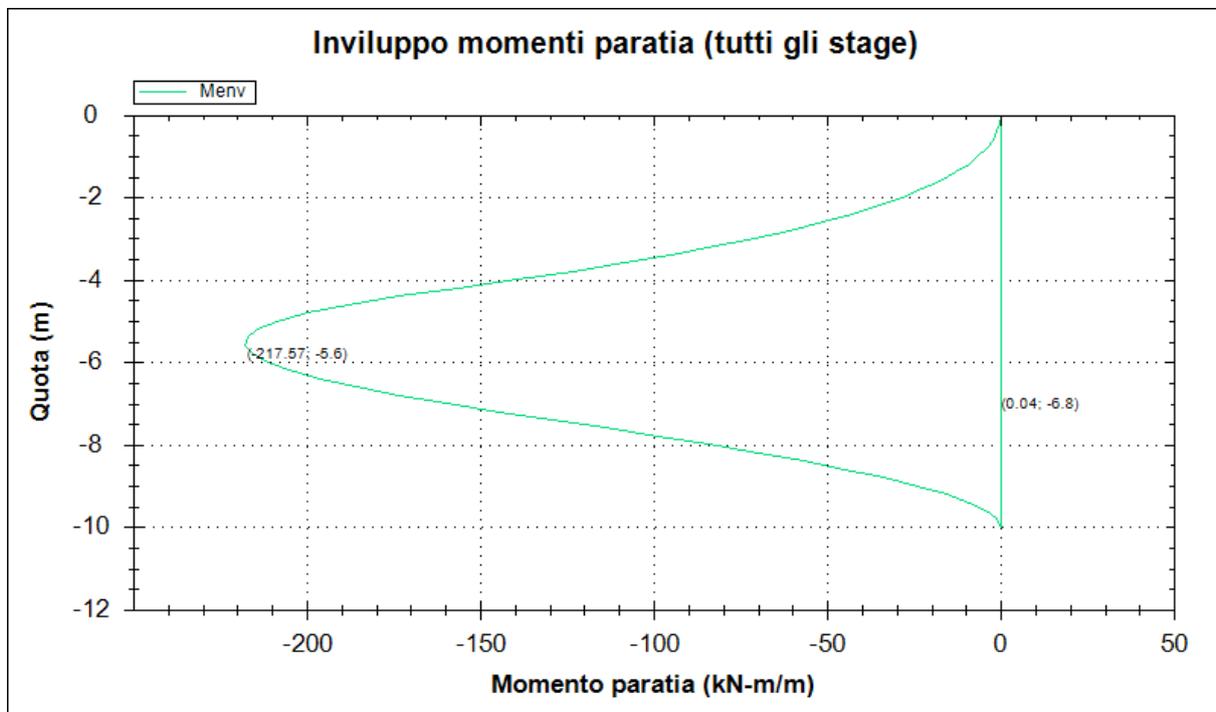


Figura 29: SPALLA 2 – Diagramma dell'involuppo del momento allo SLU (A1+M1+R1)

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	48 di 56

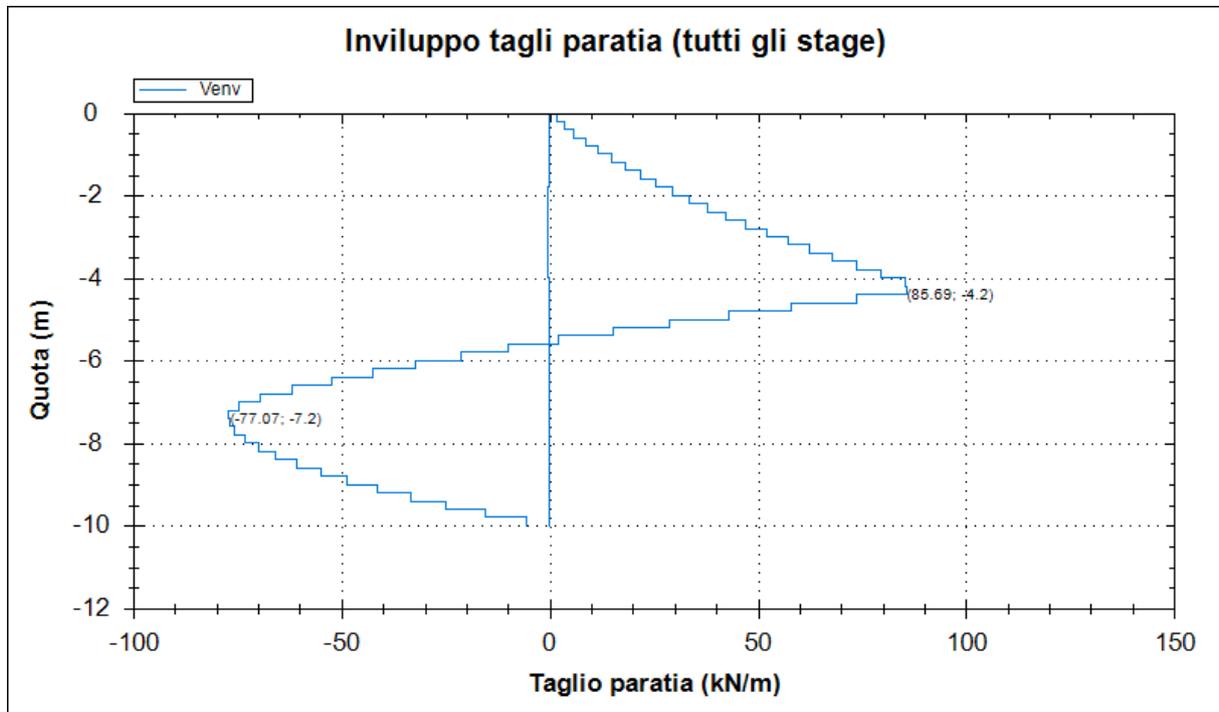


Figura 30: SPALLA 2 - Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLU (A1+M1+R1)

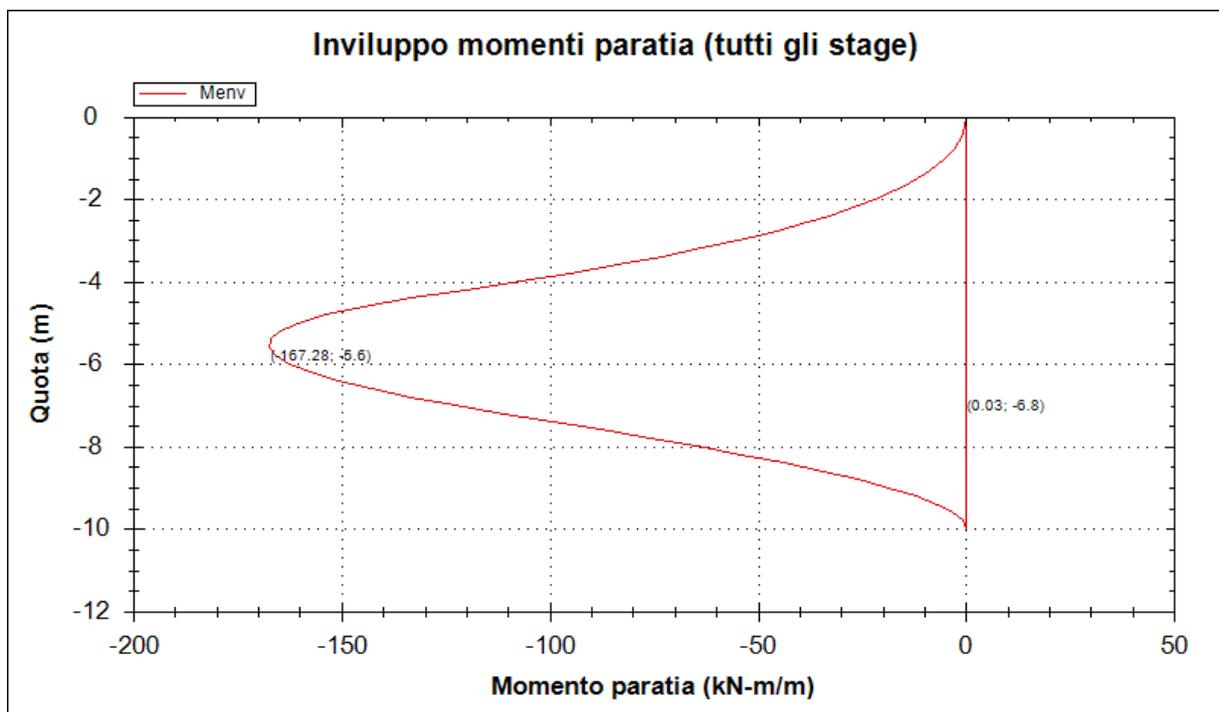


Figura 31: SPALLA 2 - Diagramma dell'involuppo del momento allo SLE

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	49 di 56

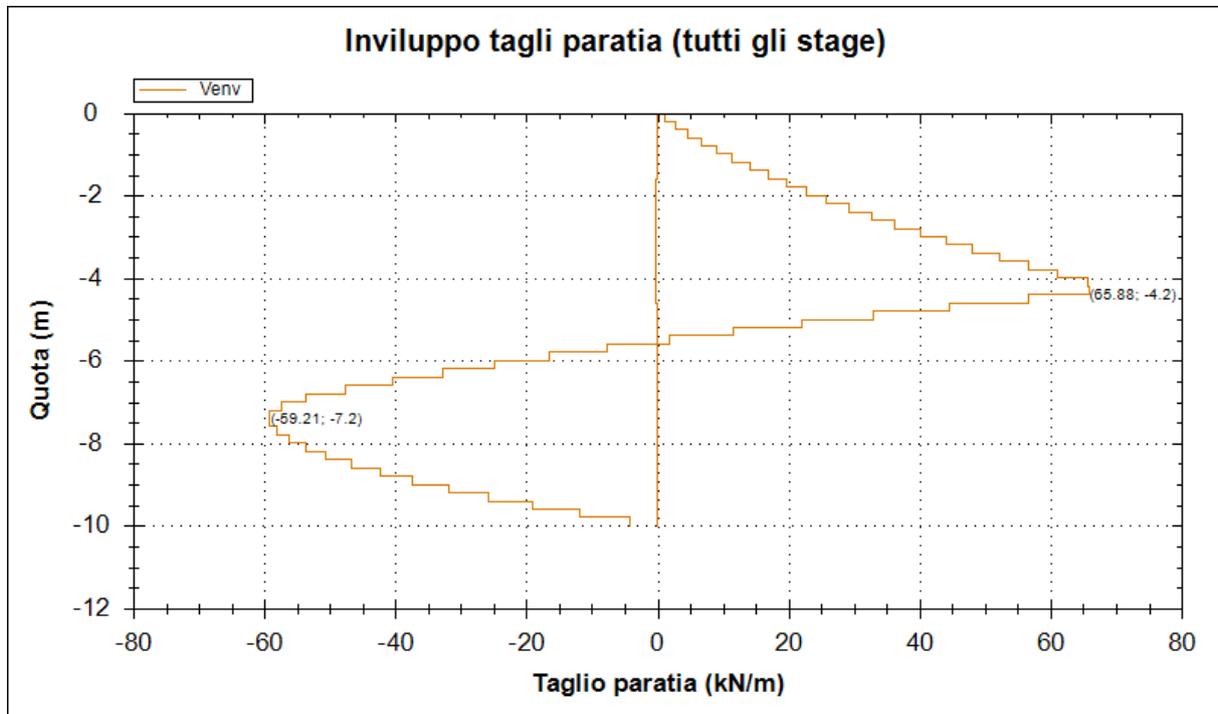


Figura 32: SPALLA 2 Diagramma dell'involuppo del taglio allo SLE

La sezione trasversale del palo  $\varnothing 1000\text{mm}$  presenta la seguente armatura longitudinale:

- 16 $\varnothing 20$ ;

L'armatura trasversale è costituita da una spirale:

- $\varnothing 12/20$ .

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	50 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLU - A1+M1+R1)**

Verifica C.A. S.L.U. - File: Spalla2\_palo800\_16Fi20

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 400 [mm]  
Raggio interno 0 [mm]  
N° barre uguali 16  
Diametro barre 20 [mm]  
Copriferro (baric.) 83 [mm]

N° barre 0 Zoom

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 218 167 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

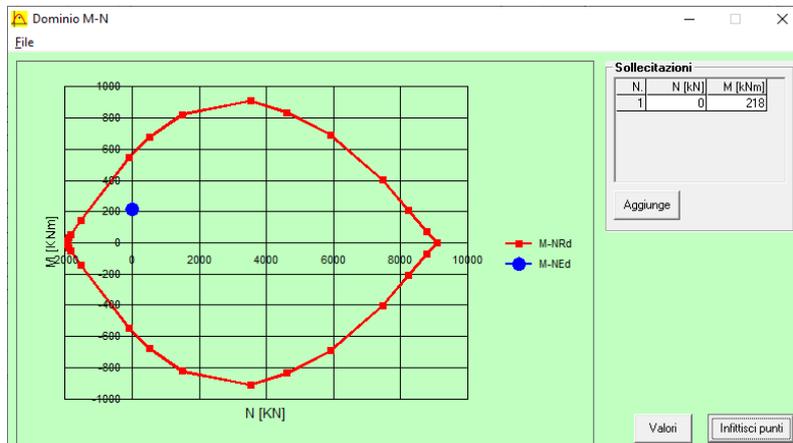
Materiali

B450C C25/30

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

M<sub>xRd</sub> 567.8 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  9.704 ‰  
d 717 mm  
x 190.1 x/d 0.2651  
 $\delta$  0.7713

Precompresso



$M_{Ed} = 218 \text{ kNm} < M_{Rd} = 568 \text{ kNm}.$

$FS = M_{Rd}/M_{Ed} = 2.60$

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	51 di 56

**Verifica a pressoflessione (SLE)**

The screenshot shows a software window titled "Verifica C.A. S.L.U. - File: Spalla2\_palo800\_16Fi20". The interface includes several panels:

- Sezione circolare cava:**
  - Raggio esterno: 400 [mm]
  - Raggio interno: 0 [mm]
  - N° barre uguali: 16
  - Diametro barre: 20 [mm]
  - Copriferro (baric.): 83 [mm]
- Sollecitazioni:**
  - Metodo n: N<sub>Ed</sub> = 0, M<sub>xEd</sub> = 218, M<sub>yEd</sub> = 0
  - Metodo n: N = 0 kN, M = 167 kNm
- Materiali:**
  - B450C:  $\epsilon_{su} = 67.5\%$ ,  $f_{yd} = 391.3$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s = 200\,000$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c = 15$ ,  $\epsilon_{syd} = 1.957\%$ ,  $\sigma_{s,adm} = 255$  N/mm<sup>2</sup>
  - C25/30:  $\epsilon_{c2} = 2\%$ ,  $\epsilon_{cu} = 3.5$ ,  $f_{cd} = 14.17$ ,  $\sigma_{c,adm} = 9.75$ ,  $\tau_{c1} = 1.829$
- P.to applicazione N:**
  - Centro (selected), Baricentro cls, Coord.[mm]
  - $\sigma_c = -5.33$  N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_s = 161$  N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_s = 0.805\%$ ,  $d = 717$  mm,  $x = 237.9$ ,  $x/d = 0.3318$ ,  $\delta = 0.8548$
- Metodo di calcolo:**
  - S.L.U.+ (selected), S.L.U.-, Metodo n
- Verifica:**
  - Vertici: 52, N° iterazioni: 4
  - Precompresso:

$$\sigma_s = 161 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 313.4 \text{ MPa}$$

La verifica risulta soddisfatta.

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	52 di 56

**Verifica a taglio (SLU - A1+M1+R1)**

$$V_{Ed} = 86 \text{ kNm} < V_{Rd} = 240 \text{ kNm.}$$

$$FS = V_{Rd}/V_{Ed} = 2.79$$

Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio (D.M. 14/01/2008)			
classe cls	$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
resist. Caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
	$f_{cd}$	14	N/mm <sup>2</sup>
diametro	$\Phi$	800	mm
Area sezione	A	502655	mm <sup>2</sup>
copriferro	c	83	mm
Area sezione rettangolare equivalente	$A_{eq}$	405636	mm <sup>2</sup>
altezza utile equivalente	d	602	mm
larghezza equivalente	$b_w$	674	mm
altezza equivalente	$h_{eq}$	746	mm
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	0	N
	$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>
	$\alpha_{cp}$	1.00	
Acciaio	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
B450C	$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>
diametro staffe (spirale)	$\varnothing_w$	12	mm
Area staffa (spirale)	$A_{\varnothing_w}$	113	mm <sup>2</sup>
0.9 d	z	542	mm
passo spirale	$s_w$	200	mm
	n° bracci	2	
angolo di inclinazione biella compressa	$\theta$	45.0	°
deve essere compreso tra 1 e 2.5	$\cot(\theta)$	1.00	
angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo	$\alpha$	90	°
	$\cot(\alpha)$	0.00	
	$As_w / s_w$	1.131	mm <sup>2</sup> /mm
Taglio resistente per "taglio trazione"	$V_{Rsd}$	240	kN
Taglio resistente per "taglio compressione"	$V_{Rcd}$	1288	kN
taglio resistente	$V_{Rd}$	240	kN

La verifica risulta soddisfatta.

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	53 di 56

### 6.3.2 VERIFICHE STRUTTURALI DEL CORDOLO

Il cordolo della paratia presenta dimensioni BxH=1.0x0.8m 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.

### 6.3.3 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	1752
Spinta passiva mobilitata	485
FS % passiva mobilitata	<b>3.6</b>

avendo posto:

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

oooo

La verifica di stabilità globale della paratia è stata condotta ai sensi del DM 2008 nella configurazione di coefficienti parziali (A+M2+R2). Il coefficiente di sicurezza risulta pari a 2.49 e quindi superiore al minimo richiesto (pari a 1.1); la verifica risulta soddisfatta.

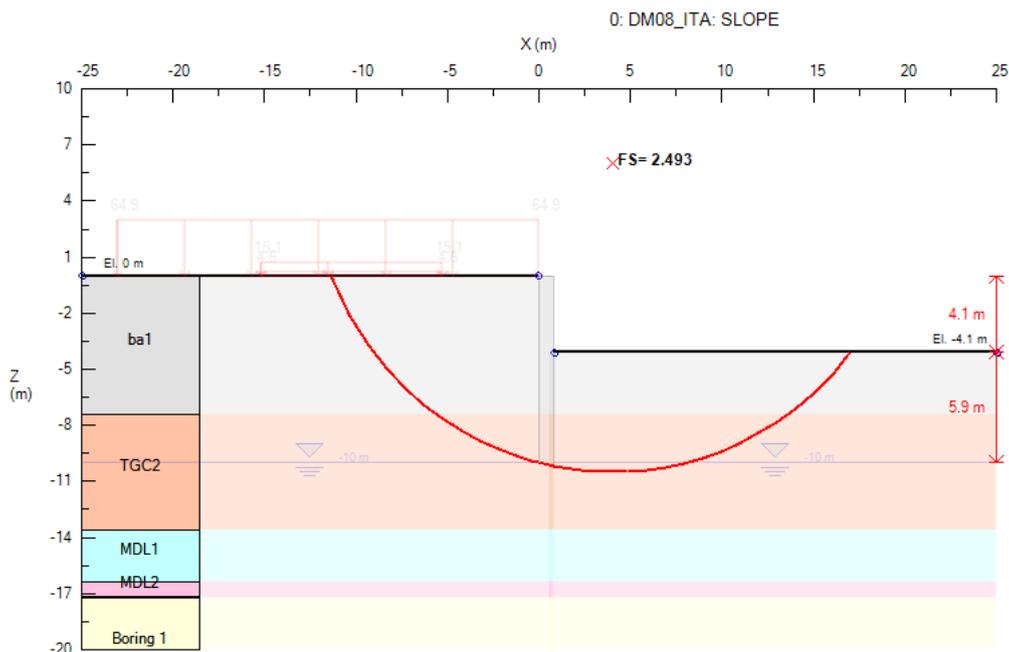


Figura 33: SPALLA 2 - Verifica di stabilità globale allo SLU (A1+M2+R2)

### 6.3.4 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).

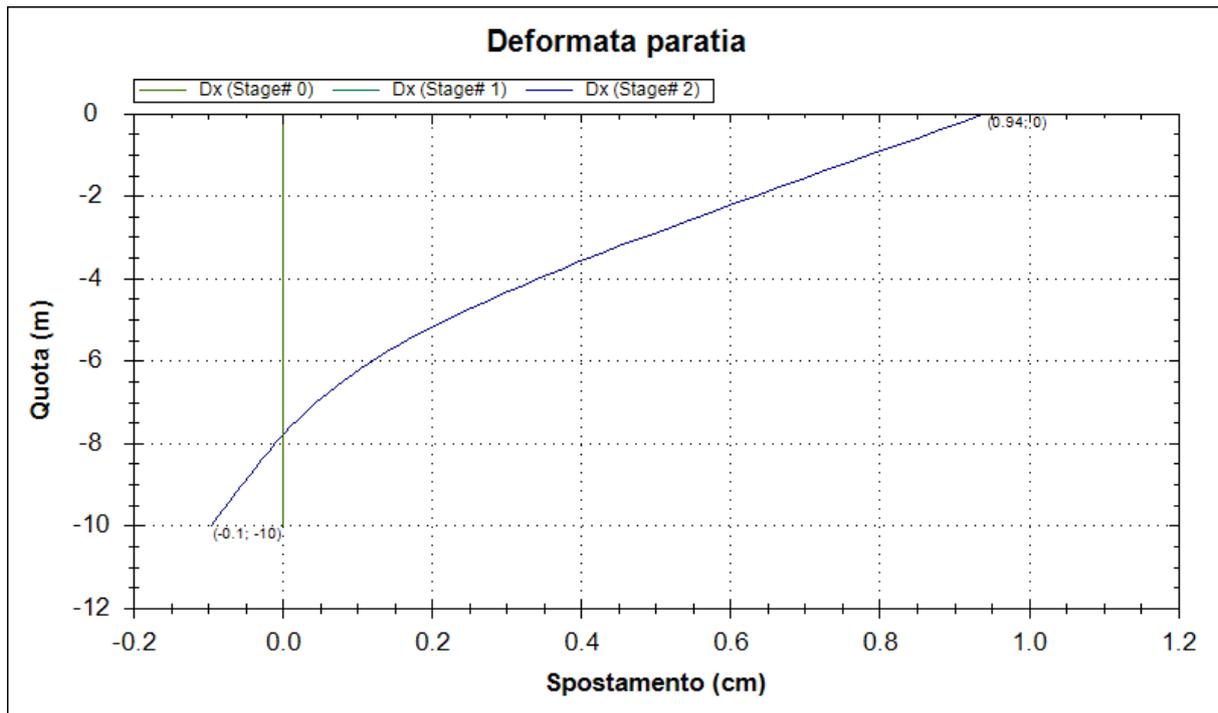


Figura 34: SPALLA 2 - Diagramma delle deformazioni allo SLE

SLE	
Spostamento orizzontale massimo $\delta_{h\_max}$ (cm)	0.94

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

Opere provvisionali: Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	55 di 56

### 6.3.5 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 inferiori a 5 mm e trascurabili a partire da una distanza di circa 6 m dalla paratia stessa.

Quindi tenuto conto che l'asse del binario più vicino si trova ad una distanza mai inferiore ai 9.5 m, si può concludere che i cedimenti massimi attesi non pregiudicano l'esercizio ferroviario.

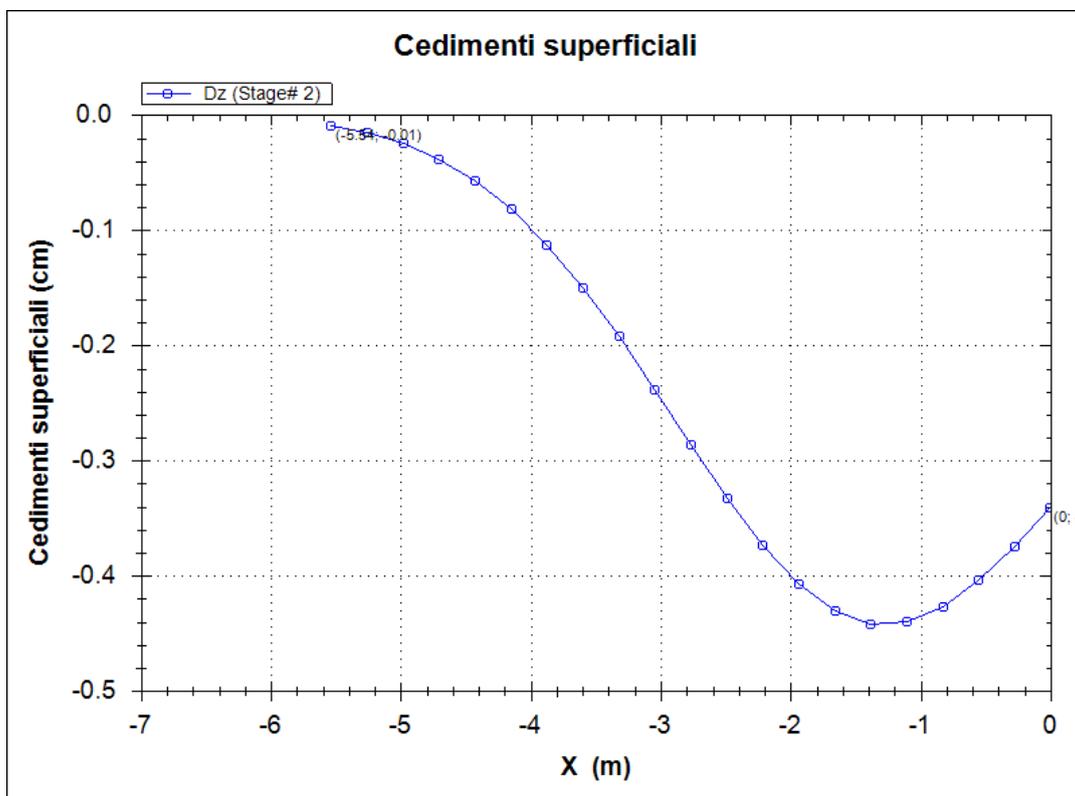


Figura 35: SPALLA 2 - Cedimenti verticali del terreno

**Opere provvisionali: Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403 001	A	56 di 56

## 7 INCIDENZA ARMATURE

<b>PARATIA SPALLA 1</b>	
Cordolo in c.a.	60 kg/mc
Pali Ø1000 – L=14m	120 kg/mc
Pali Ø1000 – L=11m	115 kg/mc

<b>PARATIA PILA 1 – SPALLA 2</b>	
Cordolo in c.a.	60 kg/mc
Pali Ø1000 – L=16m	145 kg/mc
Pali Ø800 – L=10m	115 kg/mc
Pali Ø800 – L=8m	115 kg/mc