

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U. O. Progettazione Integrata Nord

PROGETTO DEFINITIVO

**AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE
ZONA INDUSTRIALE**

2^ FASE

OPERE CIVILI

SL02 - VIA LEOPARDI

Opere provvisoriale – Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

I V 0 H 0 2 D 2 6 C L S L 0 2 0 3 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	C. Soave	Febbraio 2022	R. Lestingi	Febbraio 2022	G. Fadda	Febbraio 2022	A. Perego Settembre 2022
B	Aggiornamento post verifica tecnica RFI	R. Lestingi <i>di ccabto Lest</i>	Settembre 2022	P. Scarano <i>P. Scarano</i>	Settembre 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Settembre 2022	

Sommario

1	PREMESSA	4
1.1	GENERALE.....	4
2	DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	7
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO	8
2.3	BIBLIOGRAFIA	8
3	MATERIALI.....	9
3.1	ACCIAIO	9
4	SOFTWARE DI CALCOLO.....	10
5	INQUADRAMENTO GEOTENICO.....	11
6	DESCRIZIONE DELL'OPERA	12
7	ANALISI DEI CARICHI.....	13
7.1	CARICHI PERMANENTI	13
7.2	CARICHI ACCIDENTALI	13
7.3	AZIONE SISMICA	13
8	SPINTA DEL TERRENO.....	14
9	VERIFICHE PARATIE DI MICROPALI.....	15
9.1	VERIFICHE SLU.....	15
9.2	VERIFICHE SLE	15
10	COMBINAZIONE DI CARICO	16
11	ANALISI NUMERICHE	18
11.1	RISULTATI.....	22



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	3 DI 35

11.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU).....	22
11.1.2 Verifiche degli elementi strutturali	24
11.1.3 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE).....	25
11.1.4 Verifica di stabilità dell'opera alla rototraslazione.....	27
11.1.5 Verifica delle travi di ripartizione.....	27

12 CONCLUSIONE	35
-----------------------------	-----------



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisionali - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	4 DI 35

1 PREMESSA

1.1 Generale

Il presente documento ha per oggetto il dimensionamento e la verifica dei muri di sostegno sotto i rilevati ferroviari nell'ambito dell'adeguamento e al potenziamento dell'impianto di Vado Ligure zona Industriale, vedi Figura 1-1.

Essendo la linea Genova – Ventimiglia, appartenente alla rete TEN-T Core, e dal Porto di Savona-Vado, appartenente alla rete TEN-T Comprehensive, coerentemente al piano di adeguamento prestazionale di RFI, è stato previsto l'adeguamento a modulo 750 metri.

Il progetto prevede complessivamente la realizzazione di un nuovo ACC, in luogo dell'attuale Apparato Centrale Idrodinamico, con centralizzazione ed elettrificazione di tutti i 6 binari del piazzale, e la rivisitazione del PRG della stazione, con adeguamento di un binario a modulo 750 metri. All'interno del perimetro saranno compresi anche la soppressione del PL di Via Sabazia, l'adeguamento per la gestione delle merci pericolose, la progettazione dell'indipendenza della radice dei raccordi Porto ed Esso/Infineum e l'adeguamento stradale di via Leopardi, necessario nell'ambito dei lavori di PRG a regime.

Di seguito si illustrano le assunzioni strutturali di progetto prese a base di calcolo, la normativa di riferimento, i materiali utilizzati, la caratterizzazione geotecnica prevista, i carichi di progetto e le relative condizioni e combinazioni, lo schema strutturale adottato e le verifiche effettuate.

Le azioni applicate alla struttura seguono i criteri generali riportati nel D.M. 17/01/2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e le relative specifiche ferroviarie.

azioni permanenti (pesi propri, etc.);

azioni variabili da traffico ferroviario.

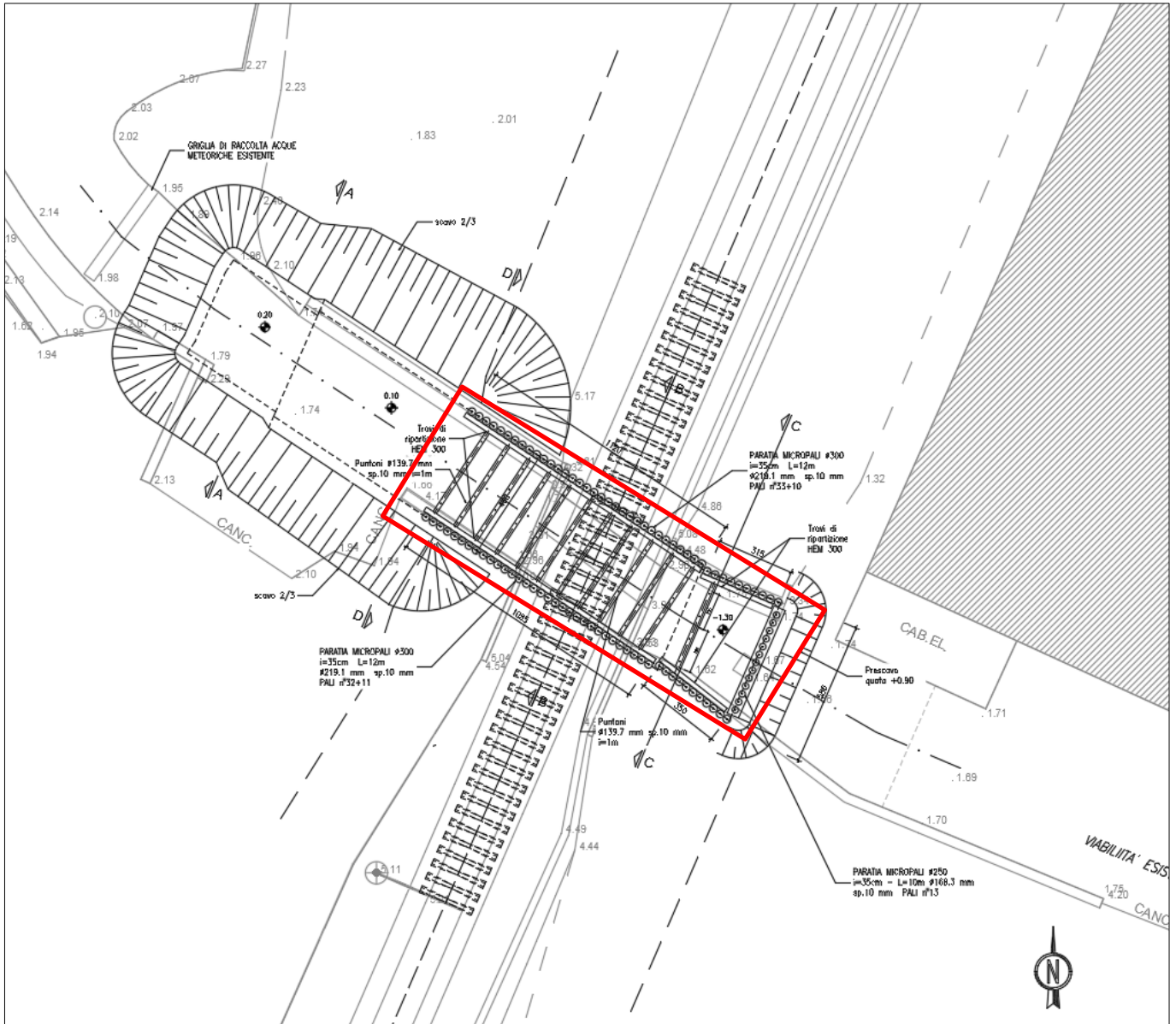


Figura 1-2 – Planimetria di progetto – Sottovia SL02



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	7 DI 35

2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018.
- [2] Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [3] RFI DTC SI CS SP IFS 004 E del 31/12/20: “Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili”;
- [4] RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili ;
- [5] RFI TCAR ST AR 01 001 D: “Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h”;
- [6] UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [7] UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- [8] UNI EN del 1998 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”;
- [9] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;
- [10] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;
- [11] D.P.R. 380 del 06/06/2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- [12] Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- [13] D.M. LL.PP. 11.03.1988 «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»;
- [14] Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l’obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono»;
- [15] Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l’obbligatorietà dell’applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero per il Lavori Pubblici”;
- [16] D.lgs. 18 aprile 2016, n. 50 «Codice dei contratti pubblici»;
- [17] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N°2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019;



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	8 DI 35

2.2 Documenti di progetto

- [18] IV0H02D26GE0000002 – Relazione geotecnica
- [19] IV0H02D26F7GE0000001 – Profilo geotecnico
- [20] IV0H02D26P9SL0200001 – Piano profilo di progetto
- [21] IV0H02D26P9SL0200002 – Pianta scavi
- [22] IV0H02D26W9RI0100001 – RI01 - Sezioni correnti
- [23] IV0H02D26WBRI0000001 – Sezioni caratteristiche e particolari costruttivi - Tav 1
- [24] IV0H02D26WBRI0000002 – Sezioni caratteristiche e particolari costruttivi - Tav 2

2.3 Bibliografia

- [25] Geotecnica, R. Lancellotta; Quarta edizione, 2012, Zanichelli.

3 MATERIALI

Paratia di micropali:

La classe minima dovrà essere	C25/30.
Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni di maturazione	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità normale	$E_{cm} = 22000 \cdot ((f_{ck} + 8) / 10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$
Peso dell'unità di volume	$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$
Caratteristiche meccaniche calcestruzzo	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 14,11$	N/mm^2
$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 2,56$	N/mm^2
$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,79$	N/mm^2
$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} = 3,07$	N/mm^2
Classe di esposizione	XC2

3.1 Acciaio

Armature:

Si adotta un acciaio tipo B450C con:

Snervamento	$f_{yk} = 450$	N/mm^2
Rottura	$f_{tk} = 540$	N/mm^2
Modulo elastico	$E = 210000$	N/mm^2 .

Tubolare dei micropali

Tipo di acciaio	S275
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	10 DI 35

4 SOFTWARE DI CALCOLO

-ParatiePlus ver. 21.1 della Harpaceas per l'analisi di opere di sostegno flessibili in interazione col terreno.

5 INQUADRAMENTO GEOTENICO

Dall'esame dei parametri geotecnici (rif. Doc. [18]), è stato possibile determinare il modello più conservativo, con riferimento al sondaggio S1 al fine delle verifiche richieste dal NTC 2018. La tabella seguente riassume i parametri geotecnici da implementare nei modelli di calcolo.

Tabella 1: Modello geotecnico di calcolo

Modello geotecnico: indagine di rif. S1, MASW2												
Unità	Descrizione	z iniziale (m da p.c.)	z finale (m da p.c.)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	K media (m/s)
R	Riporto antropico	0	3	3	18	-	-	-	-	-	-	-
UG-a	Sabbia con ghiaia poco addensata	3	9	6	18	20-30	27-29	-	-	5-15	-	2.29E-04
UG-b	Sabbia con ghiaia, talvolta limosa da sciolta a poco addensata	9	22.5	13.5	19	30-40	28-30	-	-	10-20	-	5.00E-06
UG-c	Alternanza di ghiaia con sabbia limosa e limo con sabbia addensata	22.5	30	7.5	18	40-50	32	-	-	20-40	-	1.0E-06 - 1.0E-08*

* Il valore desunto dalla letteratura in base alla granulometria trovata

La falda si è rilevata a quota di +0.80 m.s.l.m. Al fine di calcoli, la quota di falda si assume 50 cm sotto il piano campagna.

6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Al fine di sostenere lo scavo necessario per realizzare il sottopasso ciclopedonale SL02 si prevede la realizzazione di un'opera di sostegno provvisoria costituita da micropali $\phi 300$ di lunghezza pari a 12m posti ad interasse di 0.35m; all'interno della quale sarà inserita un'armatura tubolare del diametro di 219.1 mm con spessore di 10 mm. Durante le fasi di scavo, l'opera viene sostenuta da puntoni provvisori $\phi 139.7$ con spessore di 10mm e interasse di 1m. Si incrementa l'altezza di scavo di 10% secondo quanto riportato al cap.6.5.2.2 delle NTC ($4.4m+0.44m=4.85m$).

Per il calcolo e il dimensionamento dei pali si è fatto riferimento alla seguente sezione di calcolo, Figura 6-1.

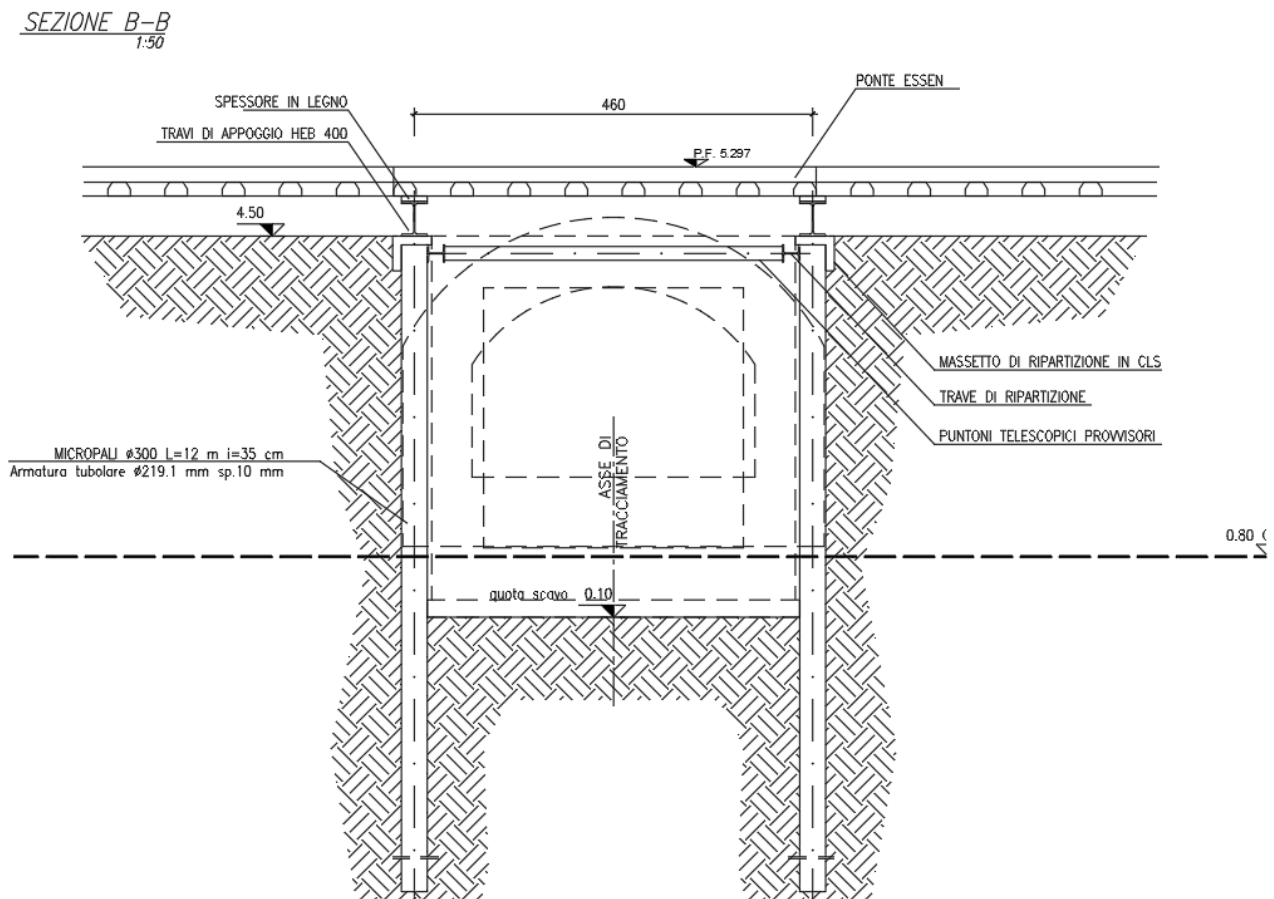


Figura 6-1 - Sezione trasversale di calcolo



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisorie - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	13 DI 35

7 ANALISI DEI CARICHI

7.1 Carichi permanenti

- Peso proprio cls

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

- Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

In particolare, il peso della sovrastruttura ferroviaria è stato applicato sull'impronta del ballast, per un'altezza media fra il piano del ferro e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m.

7.2 Carichi accidentali

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, valutati nel rispetto delle normative di riferimento e considerando il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti: LM71, SW/0 ed SW/2. Per il binario ferroviario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71) ed applicata su una superficie pari a 6.4 m.

7.3 Azione sismica

L'azione sismica è stata omessa nelle analisi in quanto le opere sono provvisorie, con una durata minore di 2 anni.



**PROGETTO DEFINITIVO AEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisionali - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	14 DI 35

8 SPINTA DEL TERRENO

Nel modello di calcolo impiegato dal software adottato PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia. I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \tan \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$).

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_a e K_p si può tener conto dell'angolo di attrito d tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del software PARATIE.



**PROGETTO DEFINITIVO ADEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	15 DI 35

9 VERIFICHE PARATIE DI MICROPALI

9.1 Verifiche SLU

In accordo alle prescrizioni normative NTC 2018 al paragrafo 6.5.3.1.2, le verifiche sono state condotte secondo l'Approccio 1 considerando le seguenti combinazioni:

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

9.2 Verifiche SLE

In esercizio sono stati valutati gli spostamenti orizzontali in maniera tale da confrontarli con i requisiti prestazionali dell'opera.

Le combinazioni di calcolo in esercizio vengono formulate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e utilizzando i parametri geotecnici caratteristici.

10 COMBINAZIONE DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3.

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

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

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

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R , nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr ₁	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr ₂	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr ₃	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr ₄	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F _{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

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

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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

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

11 ANALISI NUMERICHE

Di seguito sono riportate le analisi effettuate per definire il dimensionamento della paratia di micropali. Il modello di calcolo è stato realizzato con il programma ParatiePlus, al fine di valutare gli spostamenti allo SLE e le sollecitazioni negli elementi strutturali allo stato limite ultimo (SLU).

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto:





	Terreni	c' [kPa]	ϕ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ²]
	Rilevato esistente Sabbia / Ghiaia	0	35	E _{vc} = 40000 E _{ur} = 64000
	Ug-a Sabbia / Ghiaia	0	27	E _{vc} = 8000 E _{ur} = 12800
	Ug-b Sabbia / Ghiaia	0	28	E _{vc} = 10000 E _{ur} = 16000
	Ug-c Sabbia / Ghiaia	0	32	E _{vc} = 20000 E _{ur} = 32000

Figura 11-1 – Modello geotecnico

Le fasi esecutive per l'analisi della sezione di calcolo sono le seguenti:

1. Stato geostatico iniziale.
2. Realizzazione dei micropali con il diametro pari a 250 mm ad interasse di 0.35 m, ed applicazione del carico ferroviario.
3. Scavo di 0.6 m al fine della realizzazione del puntone provvisorio.
4. Installazione il puntone provvisorio in acciaio a quota -0.30 m dalla sommità del rilevato.
5. Scavo alla quota di piano campagna.
6. Raggiungimento quota di fondo scavo (-2.05 m da p.c.).

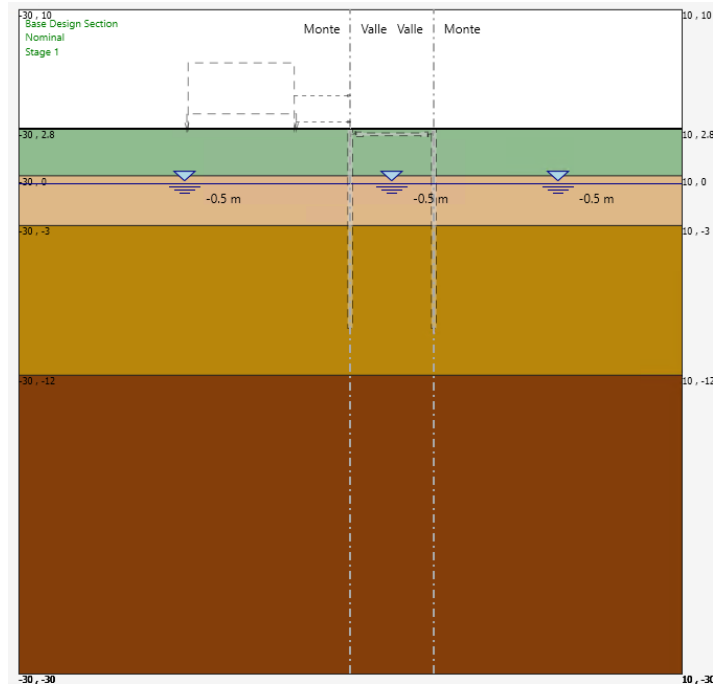


Figura 11-2 – Fase 1

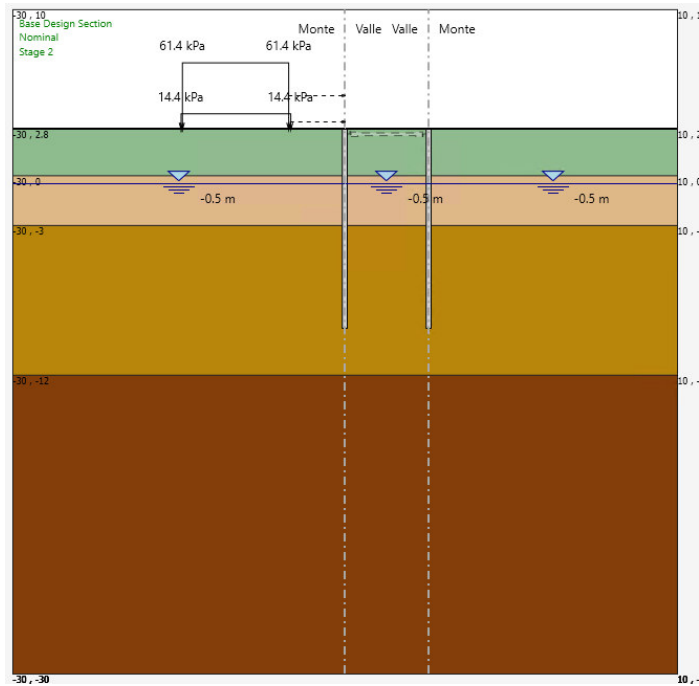


Figura 11-3 – Fase 2

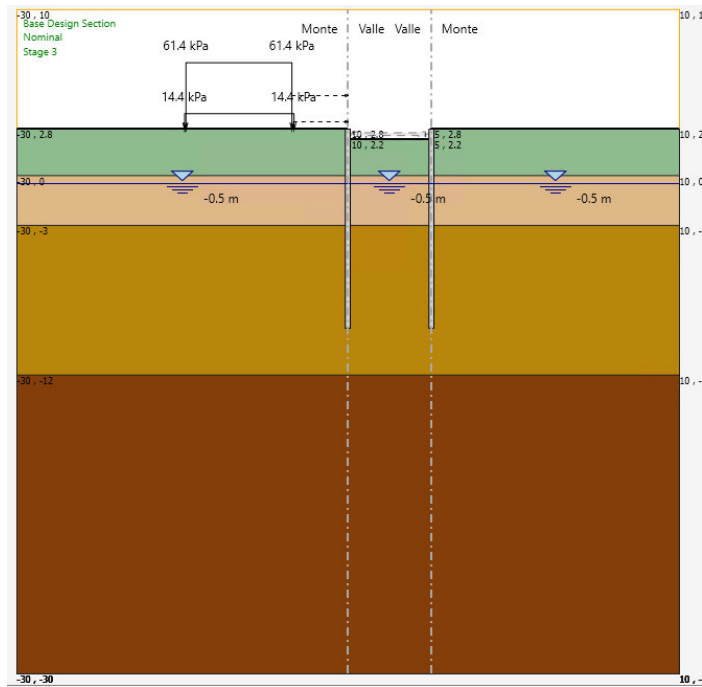


Figura 11-4 – Fase 3

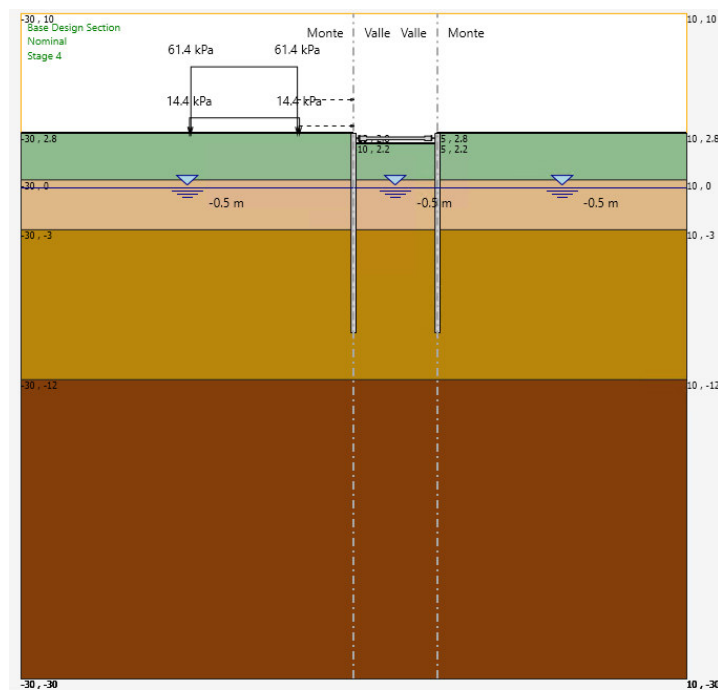


Figura 11-5 – Fase 4

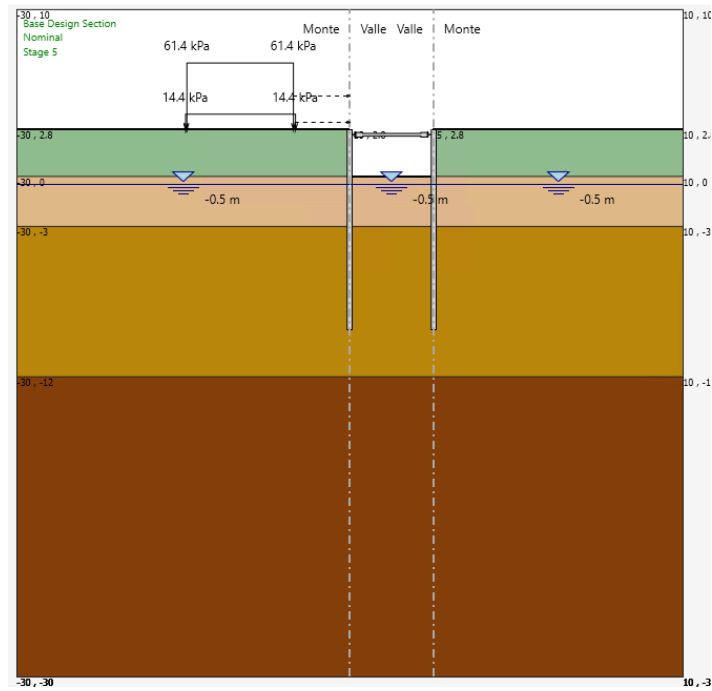


Figura 11-6 – Fase 5

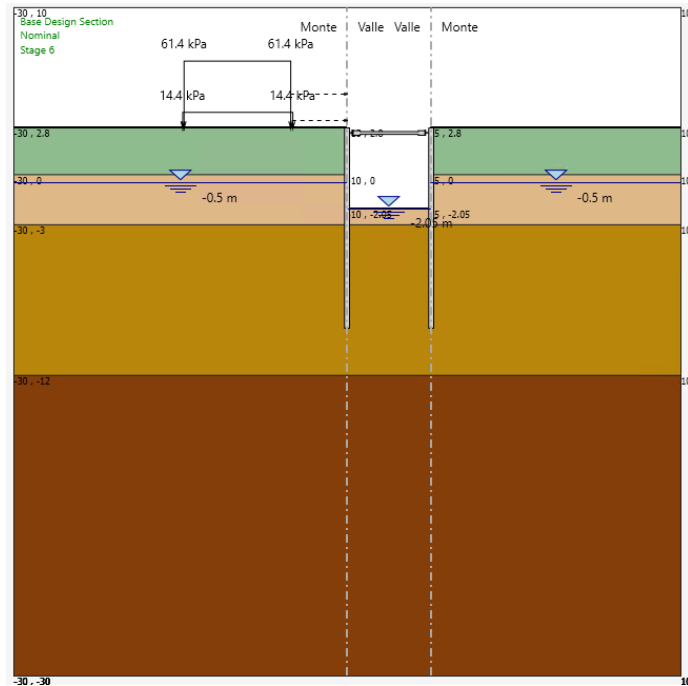


Figura 11-7 – Fase 6

11.1 Risultati

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per il modello implementato, con le indicazioni dei valori massimi e minimi delle caratteristiche della sollecitazione e gli spostamenti massimi attesi.

I valori delle caratteristiche della sollecitazione sono per metro lineare di profondità.

11.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU)

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni dell'analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1).

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 254.24 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

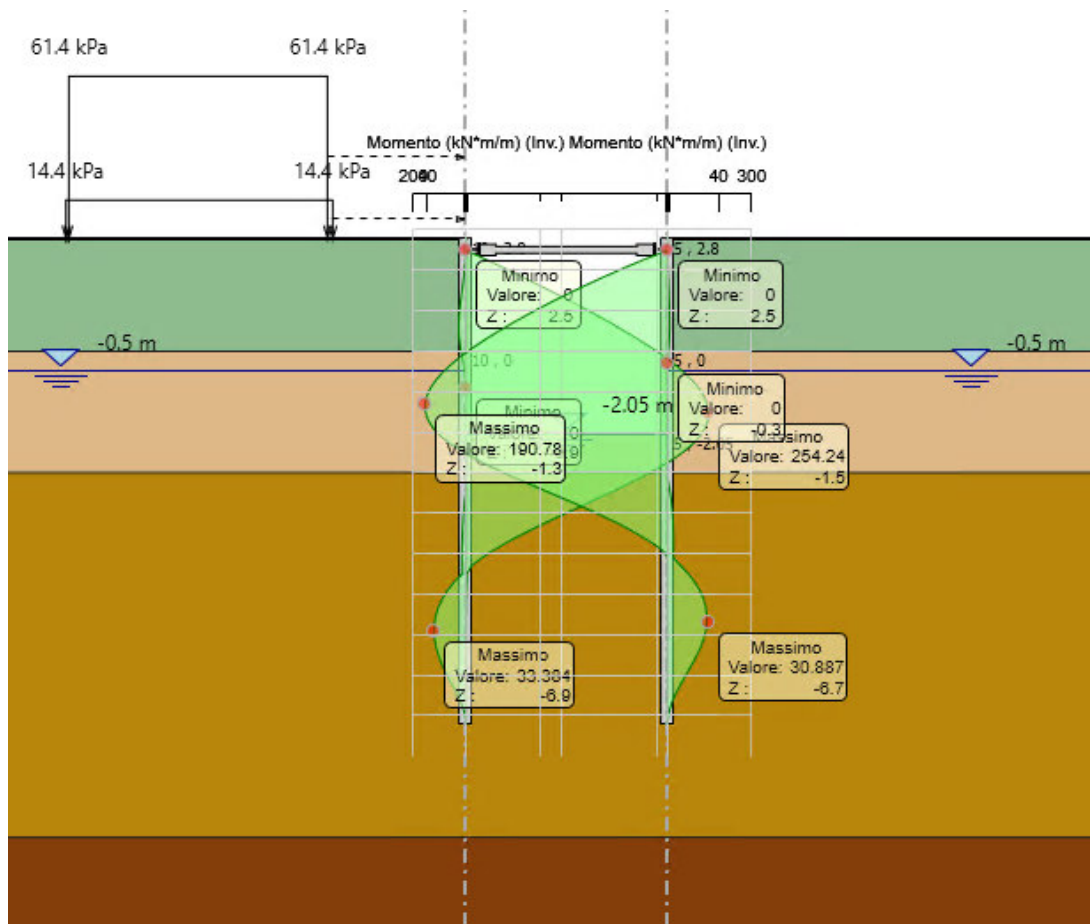


Figura 11-8 – Diagramma del momento flettente – A1 M1 R1

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 91.83 \text{ kN/m}$; taglio massimo

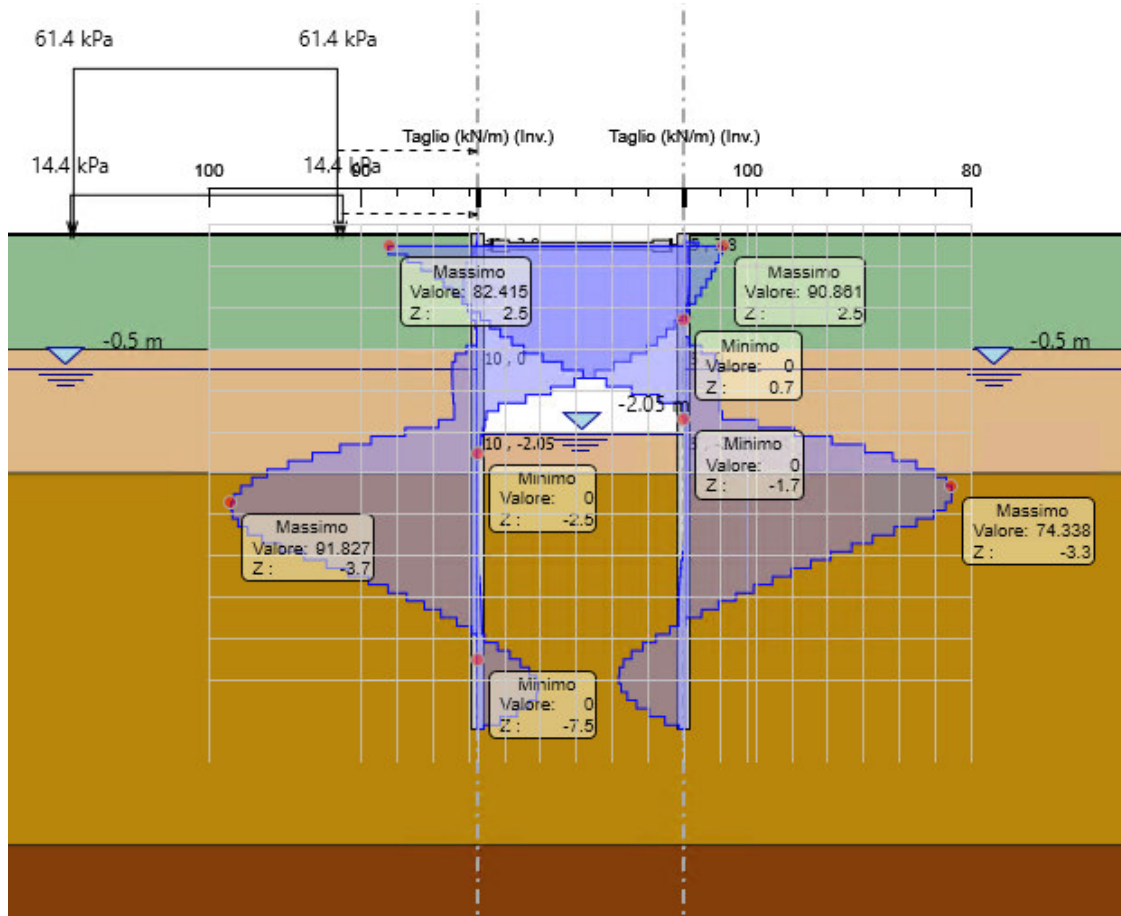


Figura 11-9 – Diagramma del taglio – Al MI R1

11.1.2 Verifiche degli elementi strutturali

11.1.2.1 Tubolare dei micropali

Di seguito si riportano le verifiche strutturali per i tubolari 219.1 mm con spessore di 10 mm secondo la NTC 2018. Le sollecitazioni massime ottenute dalle analisi vengono moltiplicate per l'interasse di micropali pari a 0.35m:

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10219 S 275 NH/NLH	Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata		
$f_{yk} =$	275 [Mpa]	D	T	1	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	M	A_s	$L/1t$		
$f_{tk} =$	430 [Mpa]	[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]		
		219.1	10.0		65.69	3598.44	7.40	328.47	437.56	51.57	0.69	19.39		
Geometria sezione				Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	219.1 [mm]	Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)		$N_{p,Rd} =$	1720.47	$N_{Ed} / N_{p,Rd} =$	0.00	verifica soddisfatta						
t =	10.0 [mm]	Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)		$N_{c,Rd} =$	1720.47	$N_{Ed} / N_{c,Rd} =$	0.00	verifica soddisfatta						
Lunghezza e vincoli asta				Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)		$M_{c,Rd} =$	114.60	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} =$	0.78	verifica soddisfatta				
L =	12.00 [m]	Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)		$V_{c,Rd} =$	632.36	$V_{Ed} / V_{c,Rd} =$	0.05	verifica soddisfatta						
$\beta =$	1.00 [-]	Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)		Sez. Classe 1-2 Sez. Classe 3	$M_{N,Rd} =$	114.60	$M_{Ed} / M_{N,Rd} =$	0.78	verifica soddisfatta					
Sollecitazioni agenti				Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)		$N_{b,Rd} =$	379.28	$N_{Ed} / N_{b,Rd} =$	0.00	verifica soddisfatta				
$N_{Ed} =$	0.00 [kN]	Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)		$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} = 0.58$									verifica soddisfatta	
$V_{Ed} =$	32.15 [kN]	Fondazione Promozione Acciaio CRESCERE L'ACCIAIO, CRESCERE IL PAESE.												
$M_{y,Ed} =$	89.00 [kNm]													
$\psi =$	0.00													

11.1.2.2 Puntone provvisorio in acciaio

Il puntone provvisorio è stato realizzato in acciaio (S275) con il diametro di 139.7 mm e lo spessore pari 10 mm a passo 1 m. Nella tabella seguente si riporta la verifica di stabilità del puntone:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Tiranti	Puntone	Travi di Ripartizione in Acciaio	Travi di Ripartizione in Calcestruzzo												
Puntone	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	Lunghezza(m)	D.A.	Stage	Carico distribuito(kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Instabilità	λ_y	λ_z	$\lambda_{lateral}$	
Strut	CHS139.7*10	S275	1	5	NTC2018: A1+M	Stage 4	-0.0074652	-0.0074652	0	0.003	0	109	109	0	
Strut	CHS139.7*10	S275	1	5	NTC2018: A1+M	Stage 5	-22.318	-22.318	0.021	0.003	0.042	109	109	0	
Strut	CHS139.7*10	S275	1	5	NTC2018: A1+M	Stage 6	-92.275	-92.275	0.086	0.003	0.174	109	109	0	

11.1.3 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

11.1.3.1 Verifica nei confronti delle deformazioni

Gli spostamenti orizzontali massimi allo stato limite di esercizio (SLE) sono di circa 3.2 cm.

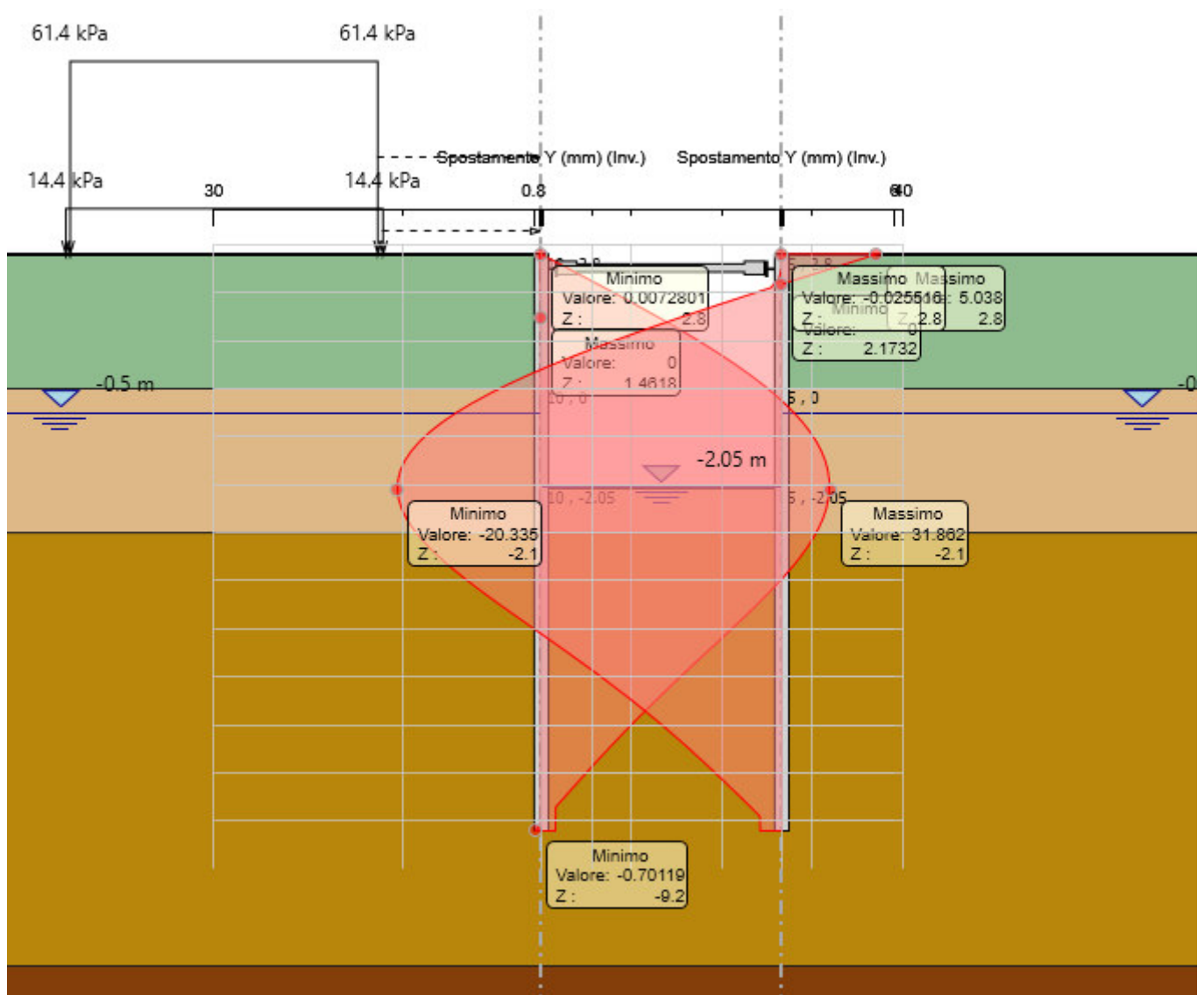


Figura 11-10 - Diagramma spostamenti – SLE

11.1.3.2 Cedimenti sotto il binario ferroviario

I cedimenti sotto il binario, a 3m di distanza dalla paratia, risultano circa 3.4 cm. Tali cedimenti si esauriranno all'atto della applicazione dei rispettivi carichi in quanto il terreno di fondazione è di natura incoerente, e quindi non risultano essere necessarie analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni, i cedimenti secondari sono trascurabili. I cedimenti sotto il binario sono recuperabili con semplice rinalzo di ballast a scavo completato.

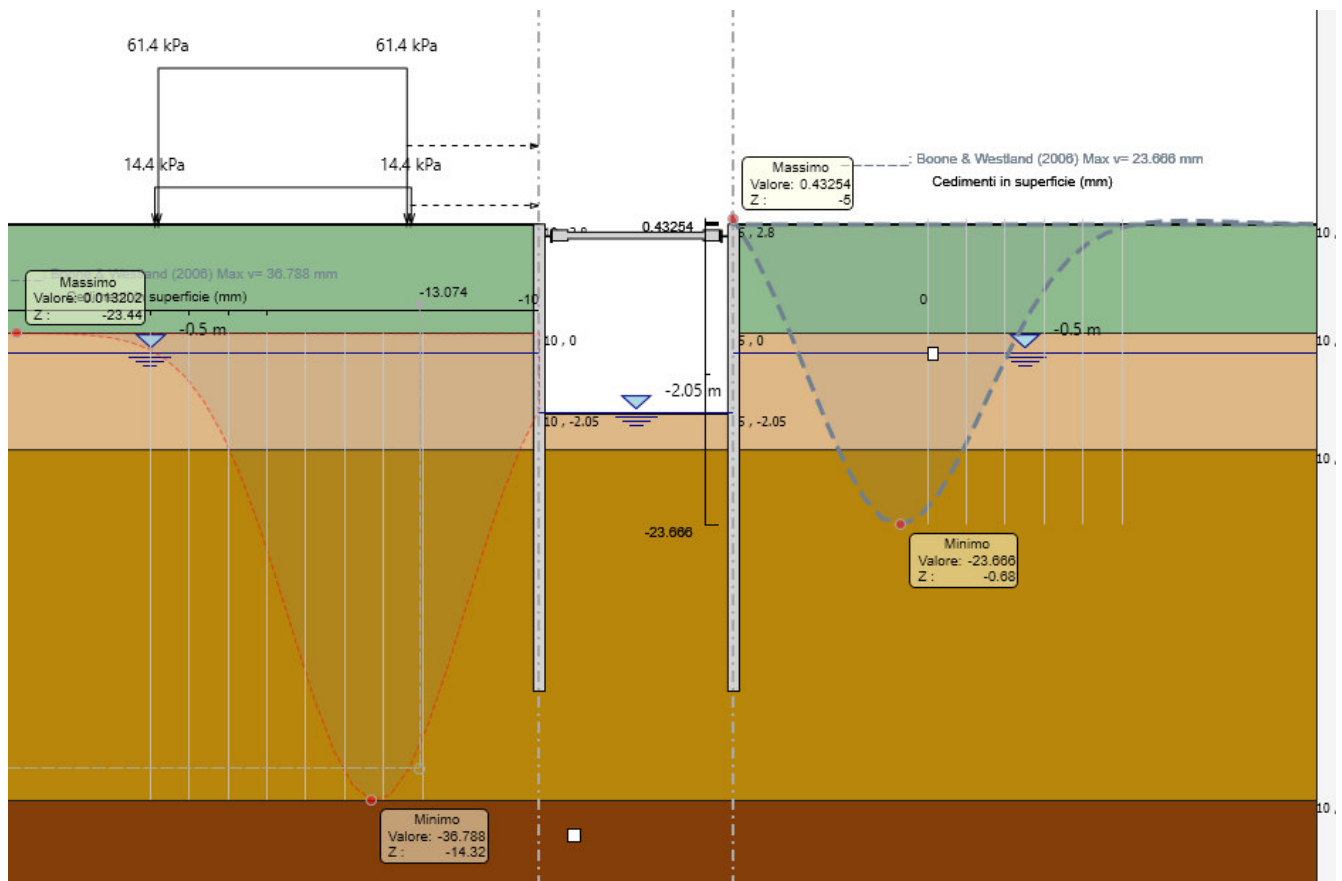


Figura 11-11 - Diagramma dei cedimenti sotto il binario ferroviario – SLE

11.1.4 Verifica di stabilità dell'opera alla rototraslazione

Per quanto riguarda le verifiche geotecniche (combinazione A2+M2+R1), la percentuale di spinta passiva mobilitata, pari al 80%, è tale da garantire la stabilità dell'opera alla rototraslazione.

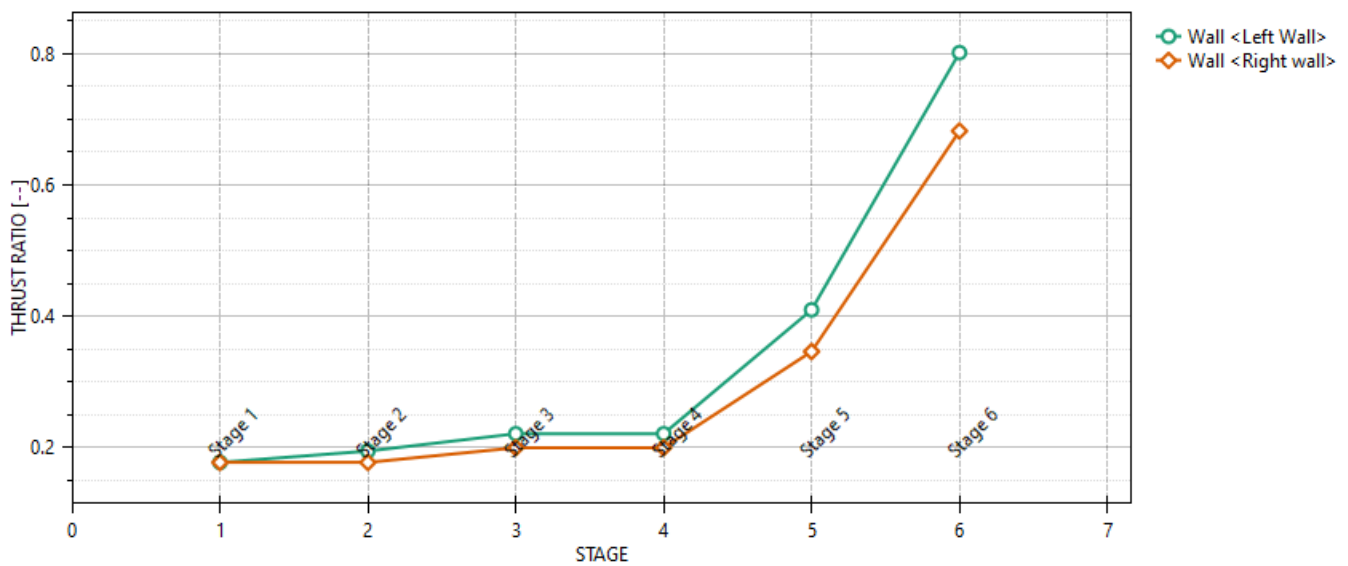


Figura 11-12 – Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

11.1.5 Verifica delle travi di ripartizione

Di seguito si riportano le verifiche strutturali per le travi di ripartizione HEM 300 in acciaio S275:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)											
Tiranti		Puntoni		Travi di Ripartizione in Acciaio				Travi di Ripartizione in Calcestruzzo			
Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito(kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Default Left Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 4	-0.0074652	0	0	0	0
Default Right Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 4	-0.0074652	0	0	0	0
Default Left Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 5	-22.318	0	0.003	0.011	0
Default Right Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 5	-22.318	0	0.003	0.011	0
Default Left Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 6	-92.275	0	0.011	0.046	0
Default Right Waler	Strut	HE 300M	S275	1	NTC2018: A1+M	Stage 6	-92.275	0	0.011	0.046	0

12 CAPACITÀ PORTANTE

Per la geometria dell'opera si faccia riferimento alla Figura 6-1.

Si specifica che la nota di calcolo si rende necessaria per la verifica dell'accettabilità della soluzione proposta. Si rimanda alla fase successiva il calcolo del sistema di sostegno provvisorio a seconda del tipo di tecnologia prevista.

12.1 Analisi dei carichi

12.1.1 Carico ferroviario

Si considera il carico più sfavorevole tra i modelli carico LM71 e l'SW2.

LM71

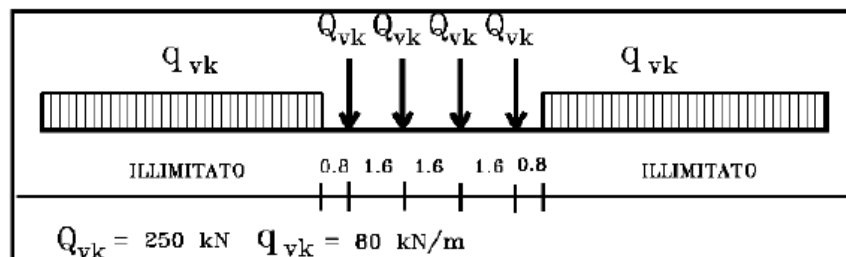


Figura 12-1 – Modello di carico LM71.

Il carico totale che scarica su ciascuna delle due travi di appoggio HEB400 è pari a:

$$Q_{k,tot} = \frac{250 \cdot 4 + 80 \cdot (8.6 - 6.4)}{2} \text{ KN} = 554 \text{ KN.}$$

Avendo considerato il carico concentrato e, sulla restante parte della luce del ponte provvisorio più i due sbalzi laterali pari a 2m, il carico illimitato di 80 KN/m.

Considerando un coefficiente dinamico di 1.35 ed un coefficiente di adattamento pari a 1.1, si ottiene:

$$Q_{k,tot} = 823 \text{ KN.}$$

Per valutare l'azione agente sul singolo micropalo si diffonde a 45° il carico lungo la trave HEB (vedasi Figura 12-2) e quindi per uno spessore complessivo di 0.4m. Cautelativamente per la diffusione del carico viene trascurata la presenza delle traverse, del massetto di ripartizione in cls e degli eventuali spessori in legno posti sopra la trave.

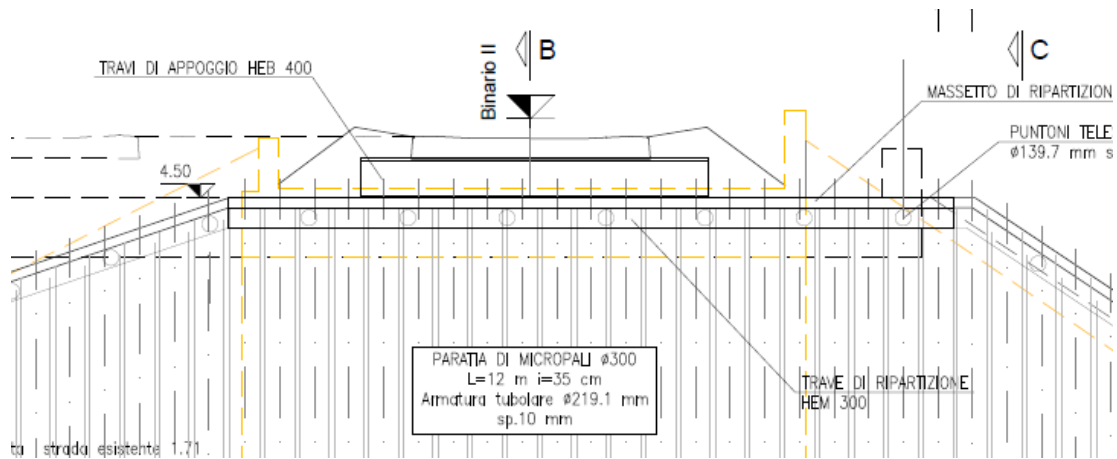
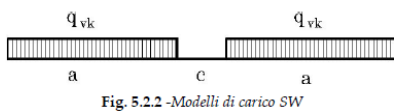


Figura 12-2 – Diffusione del carico sotto le rotaie.

Si ottiene quindi:

$$Q_{k,i} = Q_{k,tot} \cdot \frac{d}{B} = 823 \cdot \frac{0.35}{2.23} = 129.2 \text{ KN}$$

SW2



Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 12-3 – Modello e caratteristiche del carico SW/0 e SW/2.

Il carico totale che scarica su ciascuna delle due travi di appoggio HEB400 è pari a:

$$Q_{k,tot} = \frac{150 \cdot 8.6}{2} \text{ KN} = 645 \text{ KN}.$$

Avendo considerato il carico distribuito di 150 KN/m distribuito sulla luce del ponte provvisorio (4.6m) più i due sbalzi laterali pari a 2m.

Considerando un coefficiente dinamico di 1.35 ed un coefficiente di adattamento pari a 1, si ottiene:

$$Q_{k,tot} = 871 \text{ KN}.$$

Considerando quando specificato in precedenza riguardo la distribuzione delle azioni, si ottiene un carico complessivo su micropalo singolo pari a:

$$Q_{k,i} = 137 \text{ KN}$$



**PROGETTO DEFINITIVO AEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriali - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	30 DI 35

Il modello di carico SW2 sarà utilizzato per le verifiche successive.

12.2 Carichi permanenti

12.2.1 Trave HEB400

La massa della trave HEB400 è pari a 155 kg/m (peso specifico 1.52 KN/m) e quindi per un singolo micropalo si ottiene un carico di:

$$W_{k,1} = Y_{HEB} \cdot i = 0.53 \text{ KN.}$$

12.2.2 Ponte provvisorio

Per la valutazione del peso del ponte provvisorio si fa riferimento a 4 travi in acciaio longitudinali di estensione pari a 8.6m e 12 travi trasversali (passo 1.5m) di estensione pari 2.4m.

Cautelativamente si fa riferimento al peso specifico della trave HEB400.

$$W_{k,tot,2} = \frac{n_{long} Y_{HEB} \cdot L_{long} + n_{tras} Y_{HEB} \cdot L_{trasv}}{2} = \frac{(4 \cdot 1.52 \cdot 8.6 + 12 \cdot 1.52 \cdot 17.2)}{2} \text{ KN} = 183 \text{ KN.}$$

Considerando la diffusione del carico secondo quanto osservato prima si ottiene:

$$W_{k,2} = W_{k,tot,2} \cdot \frac{d}{B} = 183 \cdot \frac{0.35}{3.43} = 28.7 \text{ KN}$$

Tenendo conto dell'eventuale presenza di irrigidimenti e bullonatura con un incremento del 10% del carico totale si ottiene un carico permanente su singolo micropalo pari a:

$$W_{k,1+2} = 32.1 \text{ kN.}$$

12.3 Verifica di capacità portante

Per la valutazione della capacità portante si fa riferimento all'approccio proposto da Bustamante e Doix (1986).

Come parametri caratterizzanti del terreno, si considera il valore di SPT ottenuti nelle unità geotecniche di interesse. Con riferimento alla porzione di micropalo totalmente immerso nel terreno, ovvero pari a 7.6m (vedasi

SEZIONE B-B
1:50

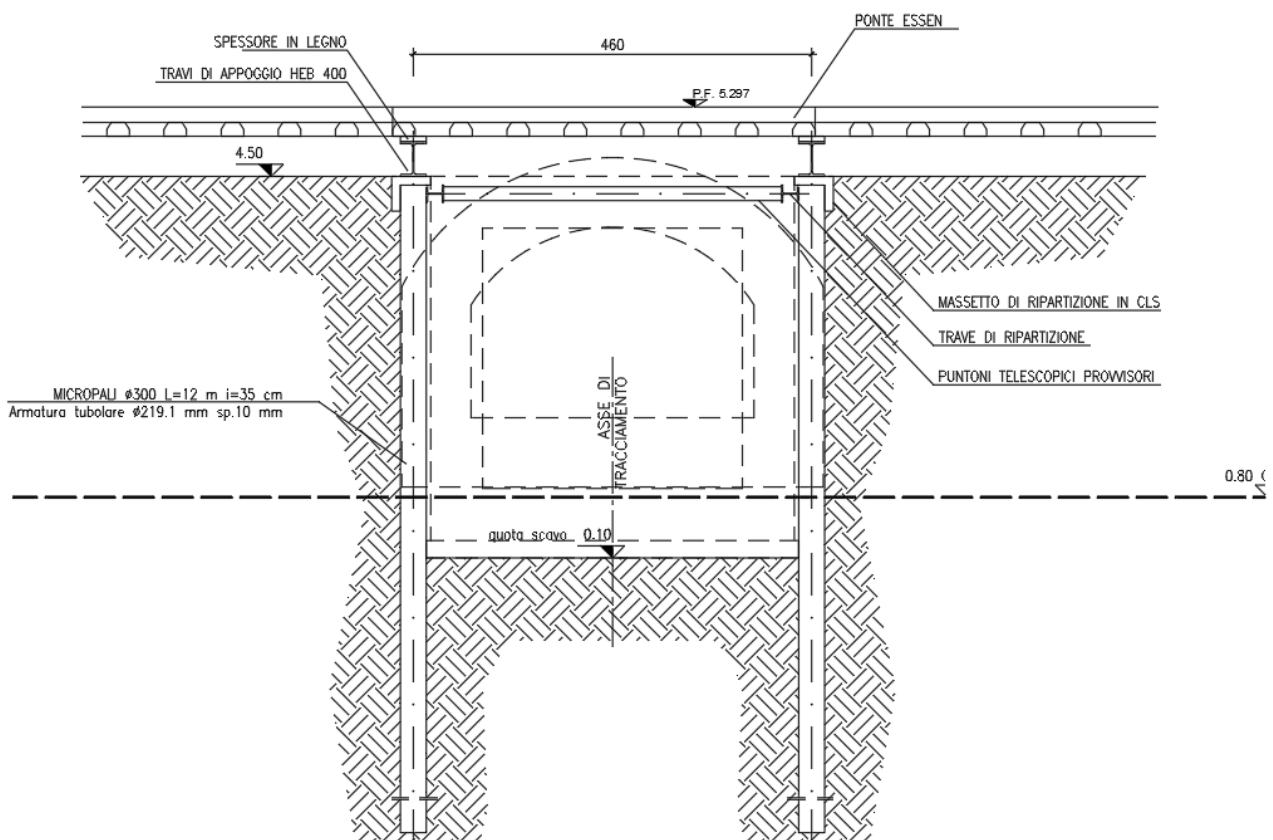


Figura 6-1), che sarà utilizzata nel calcolo, i valori di SPT sono pari a 4 e 6 (Figura 12-4).

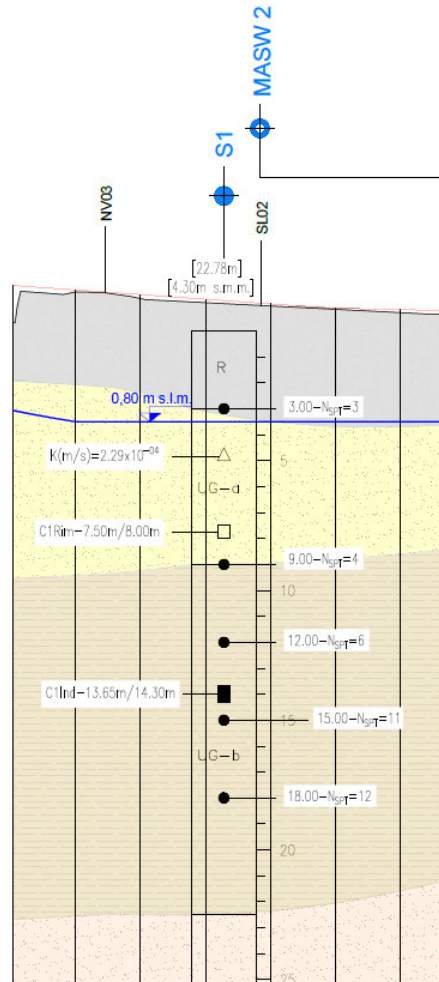


Figura 12-4 – Stralcio di profilo geotecnico.

Per il calcolo si fa riferimento al valore medio di SPT riscontrato e pari a 5.

Di seguito si riportano gli esiti della verifica:

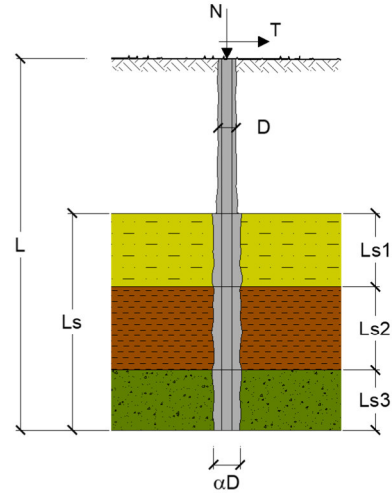
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: SL02

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	32.10	137.00	231.50
T (kN)	0.00	0.00	0.00



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s\text{traz}}$
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.45	1.35	1.15	1.25

n	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
γ_{G1}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
γ_{G2}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0.3 (m)**

Lunghezza del micropalo (L): **7.60 (m)**

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot l_{s_i}$$

Tipo di Terreno	Spessore l_{s_i} (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Q_{s_i} (kN)
AL	7.60	1.20	0.36	0.080	0.080	0.041	351.73
			0.00			0.000	0.00
			0.00			0.000	0.00

$L_s = 7.60 \text{ (m)}$ $Ql = 351.73 \text{ (kN)}$

Capacità portante di punta

$Q_p = \%Punta \cdot Ql$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 10\%$ $Q_p = 35.17 \text{ (kN)}$

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Q_{lim} = Q_b + Ql$

$Q_{lim} = 386.90 \text{ (kN)}$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$F_s = Q_{lim} / N$ ($F_s > 1$)

$F_s = 1.67$

Per tener conto del fatto che la fila di pali è posta ad interasse inferiore a 3D, si è considerata una riduzione della capacità portante rispetto al caso di palo singolo, utilizzando il metodo di Terzaghi e Peck (1948) che richiede il confronto tra la somma delle capacità assiali dei singoli pali e la capacità di un diaframma equivalente, avente dimensioni pari a quelle complessive della palificata, per cui il coefficiente correttivo vale:

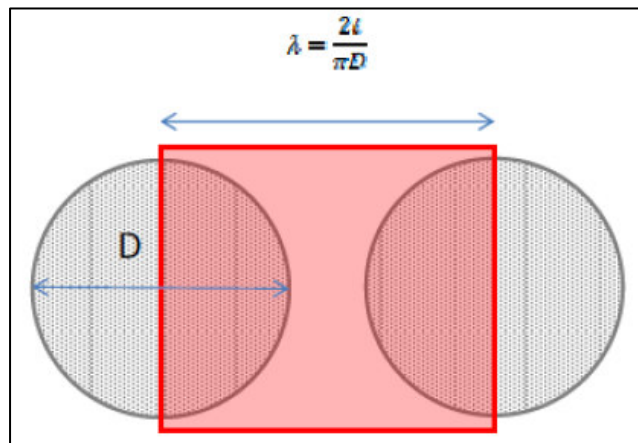


Figura 12-5 – Schema per la valutazione della riduzione di capacità laterale di una fila di pali.

$$\lambda = \frac{2 \cdot i}{\pi \cdot D} = 0.74$$

Si ottiene quindi un coefficiente di sicurezza pari a 1.23.



**PROGETTO DEFINITIVO AEGUAMENTO E
POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA
INDUSTRIALE FASE II**

Opere Provvisoriali - Relazione di Calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	SL0203 001	B	35 DI 35

13 CONCLUSIONE

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura risulta rispondere a tutti i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

Si evidenzia che la quota di falda è posta 70cm più alta rispetto alla quota di scavo. Data l'entità della differenza di quota l'abbattimento della stessa potrà avvenire attraverso pompe o con il ricorso all'attrezzatura standard di cantiere.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche dell'opera:

Micropali:

- Lunghezza micropali = 12 m;
- $D_{micropalo} = 300$ mm; diametro del palo
- interasse = 35 cm;
- $D_{tubolare} = 291.1$ mm; diametro del tubolare
- Spessore = 10 mm;

Puntone provvisorio in acciaio (S275):

- $D_{tubolare} = 139.7$ mm
- Spessore = 10 mm;
- Trave di ripartizione: HEM 300