

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI

SOTTOPASSI E SOTTOVIA

NUOVO SOTTOPASSO DI STAZIONE ASSISI - relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

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

I R 0 B 0 1 D 1 0 C L S L 0 1 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli 	Luglio 2020	S. Paoloni 	Luglio 2020	T. Paoletti 	Luglio 2020	L. Berardi Luglio 2020

File : IR0B01D10CLSL0100001A.docx

n. Elab.:

Indice

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
3.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	7
3.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
4.1	CALCESTRUZZO	8
4.1.1	<i>Elemento strutturale: cordolo e micropali</i>	8
4.2	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	8
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	10
6	CRITERI DI VERIFICA PARATIE	11
6.1	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE	11
6.2	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE (SLV).....	12
6.3	STABILITÀ GLOBALE.....	13
6.4	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE	13
7	ANALISI DEI CARICHI	15
7.1	CARICHI PERMANENTI	15
7.1.1	<i>Spinta del terreno statica</i>	15
7.1.2	<i>Armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie)</i>	16
7.2	CARICHI ACCIDENTALI	16
7.2.1	<i>Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario</i>	16
7.3	AZIONE SISMICA	16
8	COMBINAZIONI DI CALCOLO	17
9	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA	18
9.1	DATI DI INPUT.....	18

**NUOVO SOTTOPASSO DI STAZIONE ASSISI -
Relazione di calcolo opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL SL0100 001	A	3 di 27

9.2	FASI DI CALCOLO	18
9.3	RISULTATI DELLE ANALISI	20
9.4	VERIFICHE GEOTECNICHE	22
9.4.1	Verifiche SLE.....	22
9.4.2	Verifica di stabilità globale.....	24
9.5	VERIFICHE STRUTTURALI.....	25
9.5.1	Verifica micropali.....	26
9.5.2	Verifica puntone	27
9.5.3	Verifica trave di correa	27

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto "Potenziamento della linea Foligno-Terontola", rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Assisi. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l'adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e dei relativi sottopassi pedonali e l'upgrading tecnologico dell'impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input di base dalla Committenza prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dell'impianto. In particolare sono previste le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione
- Costruzione nuovo sottopasso pedonale

Per la stazione di Assisi è inoltre previsto, come detto in precedenza, l'upgrade tecnologico dell'attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L'inizio dell'intervento è previsto alla progressiva Km 14+800 circa e termina alla progressiva Km 16+450 circa.

E' prevista la modifica dell'attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento dei due marciapiedi esistenti ad H=55cm. Inoltre, verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale in aggiunta a quello esistente.

Entrambi i marciapiedi verranno dotati di due nuove pensiline ferroviarie in continuità a quelle esistenti a copertura del nuovo sottopasso.

A tal proposito, si evidenzia che per quanto riguarda il marciapiede ad isola, per il soddisfacimento del Programma di Esercizio anzidetto, si viene a determinare un ampliamento di circa 2m della banchina lato III binario. Per quanto riguarda la pensilina attuale prevista sul marciapiede del II e III binario si è deciso, d'intesa con la DTP RFI, di non intervenire sull'ampliamento della pensilina esistente su detta banchina, in virtù del vincolo presente da parte della sovrintendenza BBCC sul fabbricato viaggiatori.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti inoltre, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;

NUOVO SOTTOPASSO DI STAZIONE ASSISI -
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL SL0100 001	A	5 di 27

- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA


Tra le opere che interessano la stazione di Assisi c'è il sottopasso di attraversamento dei binari che è costituito da una struttura scatolare in cemento armato varato a spinta .

La presente relazione riporta le analisi e le verifiche delle paratie provvisionali necessarie per lo scavo delle rampe. Il sottopasso e le rampe scale sono oggetto di specifiche relazioni.

La paratia è costituita da micropali con diametro di perforazione $\varnothing 300$ ad interasse 0.45 m armati con un tubolare $\varnothing 219.1$ spessore 10 mm e lunghezza 12.0 m.

La paratia è puntonata all'altezza del cordolo sommitale con dei tubolari di acciaio $\varnothing 219.1$ spessore 10 mm ad interasse 5.0 m e ad una profondità di 3.0 m con un secondo ordine di puntoni delle stesse caratteristiche di quelli del primo ordine ma fissati ad una trave di correa realizzata con un profilo HEB300.

L'altezza di scavo da estradosso cordolo è pari a 6.0 m quindi nel modello di calcolo si considera uno scavo di 6.5 m in accordo con quanto indicato al punto 6.5.2.2 delle NTC18.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</p>					
<p>NUOVO SOTTOPASSO DI STAZIONE ASSISI - Relazione di calcolo opere provvisionali</p>	<p>COMMESSA IR0B</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA D10</p>	<p>DOCUMENTO CL SL0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 27</p>

3 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

3.1 **Documentazione di progetto**

- 1) ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Geotecnica – Profilo geotecnico (doc. IR0B01D10F7GE0006001)
- 2) ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Geotecnica – Relazione geotecnica generale (doc. IR0B01D10GEGE0006001)
- 3) ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Sottopassi e sottovia – Nuovo sottopasso di stazione Assisi - Opere provvisionali: pianta, prospetto e dettagli (doc. IR0B01D10BZSL0100001)

3.2 **Normativa e standard di riferimento**

- 4) Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30
- 5) Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- 6) RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 delle NTC2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi delle NTC citate.

4.1 Calcestruzzo

4.1.1 Elemento strutturale: cordolo e micropali

Classe di resistenza = C25/30

R_{ck} = resistenza cubica = 30 N/mm²

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 R_{ck} = 24.9 N/mm²

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8$ = 32.9 N/mm²

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 24.9 / 1.5 = 14.11$ N/mm²

f_{ctm} = resistenza media a trazione semplice = $0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.56$ N/mm²

f_{ctk} = resistenza a trazione caratteristica = $0.70 \times f_{ctm} = 1.79$ N/mm²

f_{cfm} = resistenza media a trazione per flessione = $1.20 \times f_{ctm} = 3.07$ N/mm²

E_{cm} = modulo elastico tra 0 e $0.40f_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447$ N/mm²

Classe di esposizione XC2

4.2 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio S355 J0 EN 10025

Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$$f_{y\text{ non}} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t\text{ non}} = 540 \text{ N/mm}^2$$

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

Tabella 4-1 Requisiti acciaio.

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\text{ non}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\text{ non}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{v\text{ nom}})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\leq 1,25$	10.0
	$\geq 7,5 \%$	
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 ϕ	

Inoltre si ha:

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Sovrapposizioni barre $\geq 40\phi$

Resistenza di calcolo per la verifica agli SLU ($\gamma_s = 1.15$) e deformazione corrispondente:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0.186\%$$

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Dal punto di vista geotecnico le unità che caratterizzano le stratigrafia di progetto sono le seguenti:

- R: materiale di riporto/rilevato ferroviario esistente
- Als: Spessore variabile tra 6.0 e 12.0 m ca.; composizione variabile da argilla limosa a sabbia limosa. Per tale strato, si dispone di 8 prove NSPT, di 7 campioni rimaneggiati e di 2 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio. L'unità rappresenta la porzione più superficiale delle litofacies bb2 e bb3.
- Gs: composizione variabile da sabbia limosa a ghiaia sabbiosa; rappresenta la litofacies geologica bb1.
- Al: argilla limosa a profondità superiori di 15 m; rappresenta la litofacies geologica bb3.

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per qualsiasi approfondimento. Si riportano a seguire la stratigrafia e i parametri meccanici utilizzati nei calcoli (valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nella relazione geotecnica). Per quota 0.0 si intende quota p.f..

Tabella 5-1 – Valori di calcolo dei parametri geotecnici del terreno

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	E [MPa]
Als	p.c.	-8.0	19.5	2.0	27	12.5
Gs	-8.0	-	20.0	0.0	33	32.5

La falda risulta a quota – 10.0 m da piano ferro.

6 CRITERI DI VERIFICA PARATIE

6.1 Verifiche SLU in condizioni statiche

Le verifiche delle paratie sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;

instabilità globale dell'insieme terreno-opera;

SLU di tipo strutturale (STR)

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

Le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno – deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'approccio 1 delle NTC 2018, tenendo in conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

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

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

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II delle NTC 2018, con i coefficienti γ_R del gruppo R1 pari all'unità.

In particolare le verifiche agli stati limite ultimi GEO sono state effettuate considerando la combinazione 2 mentre per le verifiche di stati limite ultimi STR è stata utilizzata la combinazione 1.

Nel caso in esame inoltre, in accordo con quanto stabilito al punto 3.8.1.3.4.1 del Manuale di Progettazione (Rif. 6)) la tabella 6.2.I delle NTC 2018 è stata sostituita con la tabella 5.2.V delle stesse norme.

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus.

Nei modelli di calcolo, in accordo al punto 6.5.2.2 delle NTC18, l'entità dello scavo è stata incrementata di $\Delta h = \min(0.5 \text{ m}; 10\% \Delta t)$, in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Tabella 6-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

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.

Tabella 6-2 - 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
Coesione 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

Tabella 6-3 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLU di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

6.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche (SLV)

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono stati posti pari all'unità mentre sono state impiegate le resistenze di progetto ridotte con gli opportuni coefficienti parziali γ_R .

L'analisi è stata eseguita mediante metodi pseudo – statici. In tali metodi l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. Le componente orizzontale a_h dell'accelerazione equivalente è stata valutata a partire dell'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 NTC 2018);
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 NTC 2018).

La componente verticale dell'accelerazione è stata considerata nulla ($a_v=0$).

L'accelerazione massima orizzontale a_{max} è stata valutata come:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.3.

Tabella 6-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLV di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1.2

6.3 Stabilità globale

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo di Bishop.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, ai fini della valutazione dell'azione sismica, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}/g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g : accelerazione di gravità.

Il valore di β_s è assunto pari a 0.38 coerentemente con quanto indicato al punto 7.11.4 delle NTC 2018.

6.4 Verifiche geotecniche SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo E_d e C_d rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, devono essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

7 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

7.1 Carichi permanenti

7.1.1 Spinta del terreno statica

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus v. 20, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia

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:

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

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

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

dove:

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

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di m per argille italiane.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

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

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

Attraverso valori opportuni di K_A e K_P si può tener conto dell'angolo di attrito δ 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)

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - 2c' \sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + 2c' \sqrt{K_P}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione drenata del terreno. Nel caso in cui si voglia tenere conto dell'adesione a tra parete e terreno, i limiti attivo e passivo si modificano come segue.

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - c' K_{ac} \text{ con } K_{ac} = 2 \sqrt{K_A (1 + a/c')} \leq 2.56 \sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + c' K_{pc} \text{ con } K_{pc} = 2 \sqrt{K_P (1 + a/c')} \leq 2.56 \sqrt{K_P}$$

Nei casi in esame si è assunto δ , angolo di attrito terreno/struttura, pari a $1/2\varphi'$, dove φ' è l'angolo di attrito del terreno naturale.

7.1.2 Armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie)

In ottemperanza a quanto indicato nel Manuale di Progettazione (Rif. 6)), il carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria (massicciata + armamento) è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata sull'impronta del ballast (larghezza complessiva di circa 5.5 m) considerando un'altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m. Il peso di volume è stato assunto pari a 18.0 kN/m³ per i tratti in rettilineo e a 20.0 kN/m³ per i tratti in curva, pertanto il carico di progetto vale rispettivamente 14.4 kPa e 16.0 kPa nei due casi.

7.2 Carichi accidentali

7.2.1 Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Manuale di Progettazione (Rif. 6)), considerando il treno di carico LM71 (con $\alpha=1.1$) che per i casi in esame risulta essere più gravoso rispetto al treno di carico SW2.

In particolare, si è fatto riferimento ai quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.60 m e pertanto si è considerato un carico di $\alpha \cdot Q_{vk}/i = 1.1 \cdot 250/1.6 = 171.88$ kN/m. Per riportare tale carico dalla traversina, di larghezza pari a 2.4 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 45° su un'altezza di 40 cm. Pertanto, la pressione equivalente è stata considerata applicata su una fascia di larghezza pari a 3.2 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria, e pari a 53.71 kPa.

7.3 Azione sismica

Essendo l'opera provvisoria con durata inferiore a 2 anni in accordo con quanto indicato al punto 2.4.1 delle NTC18 l'azione sismica non viene considerata.

8 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente 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), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica 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 stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con E_Y e E_Z rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

9 PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA

9.1 Dati di input

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche dell'opera adottate nelle analisi.

- La paratia è costituita da micropali con diametro di perforazione $\varnothing 300$ ad interasse 0.45 m armati con un tubolare $\varnothing 219.1$ spessore 10 mm e lunghezza 12.0 m.
- La paratia è puntonata all'altezza del cordolo sommitale con dei tubolari di acciaio $\varnothing 219.1$ spessore 10 mm ad interasse 5.0 m.
- La paratia è puntonata ad una profondità di circa 3.0 m con dei tubolari di acciaio $\varnothing 219.1$ spessore 10 mm ad interasse 5.0 m, la trave di ripartizione è costituita da un profilo HEB300.
- L'altezza di scavo da estradosso cordolo è pari a 6.0 m quindi nel modello di calcolo si considera uno scavo di 6.5 m in accordo con quanto indicato al punto 6.5.2.2 delle NTC18.

9.2 Fasi di calcolo

Nel programma di calcolo Paratie Plus sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- Stato attuale (sovraccarichi permanenti attivi);
- Realizzazione delle paratie;
- Prescavo di 0.6 m;
- Realizzazione del 1° ordine di puntoni;
- Scavo fino a - 3.5 m dal PC
- Realizzazione del 2° ordine di puntoni;
- Scavo fino a quota di -6.5 m da testa paratia;
- Applicazione sovraccarico ferroviario.
- Realizzazione delle pareti interne fino ad una quota di circa 20 cm dal secondo puntone §(in questo caso l'effetto delle pareti è stato modellato con un vincolo fisso).
- Dismissione del 2° ordine di puntoni

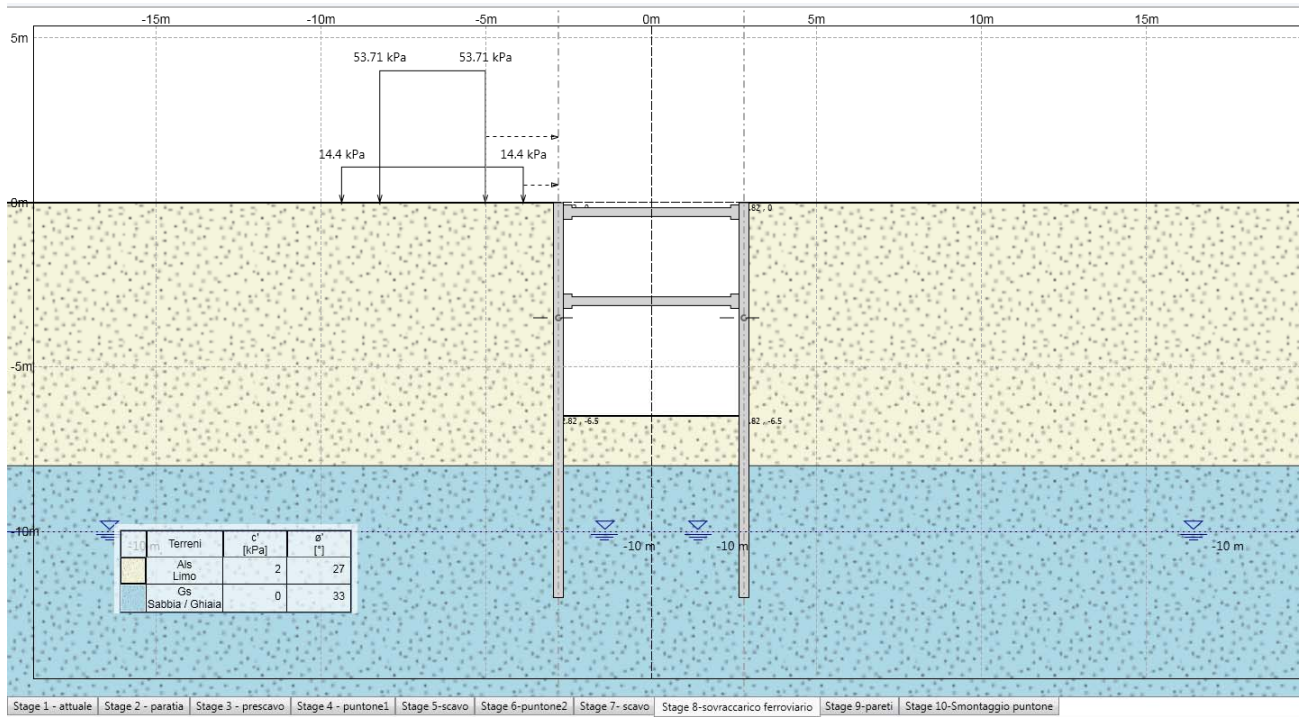


Figura 9-1 – Schema di calcolo paratia.

9.3 Risultati delle analisi

A seguire si riportano i diagrammi del momento flettente e del taglio ottenuti dalle analisi, con particolare riferimento agli andamenti riferiti alle fasi di maggior interesse, da cui sono stati estratti i valori massimi per le verifiche strutturali di cui al paragrafo 9.5.

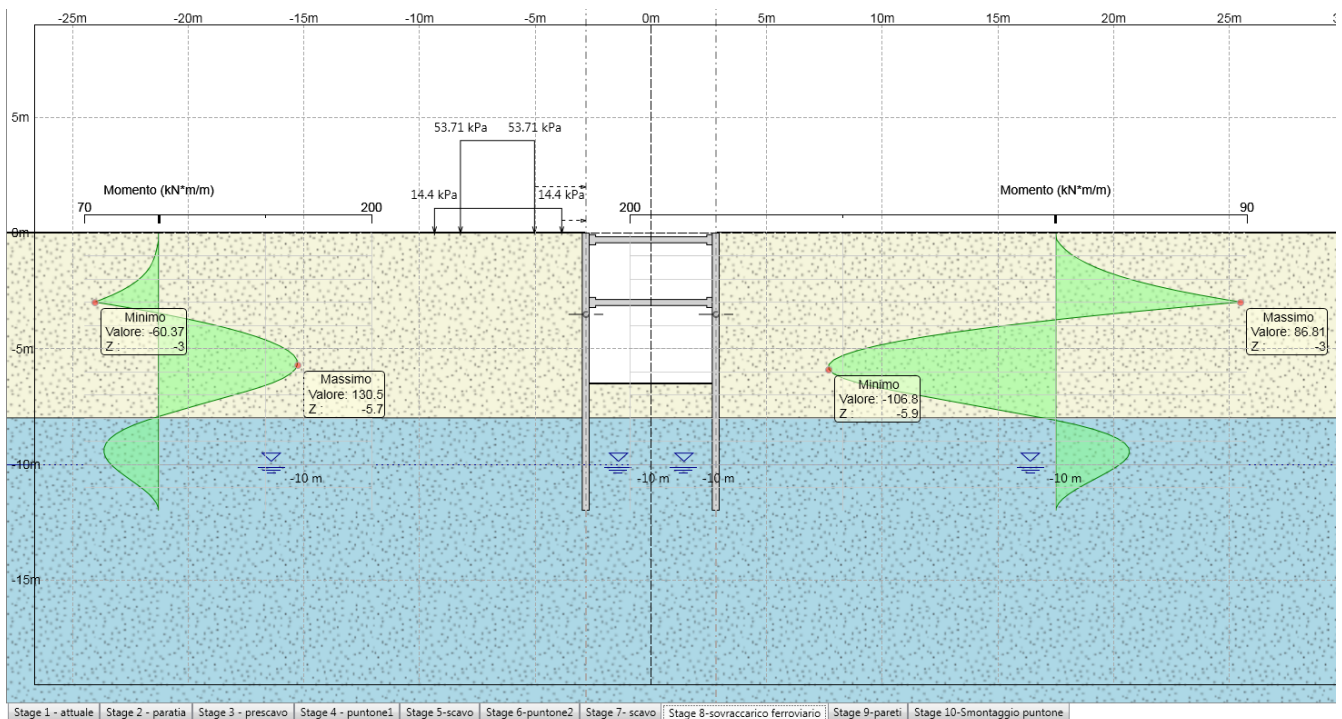


Figura 9-2 – Momento SLU.

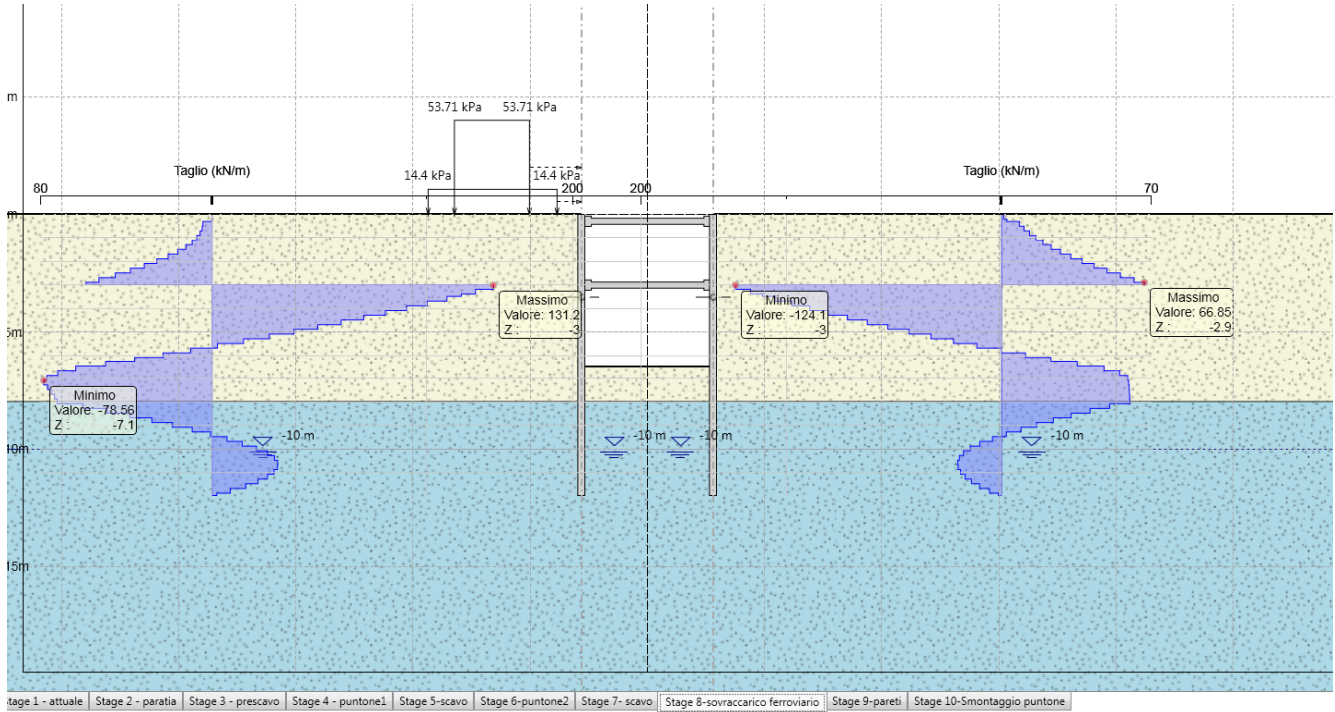


Figura 9-3 – Taglio SLU.

9.4 Verifiche geotecniche

9.4.1 Verifiche SLE

Nell'immagine che segue si riporta lo spostamento massimo della paratia che è stato riscontrato nella fase 8 ed è pari a circa 13 mm per la paratia sinistra. La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

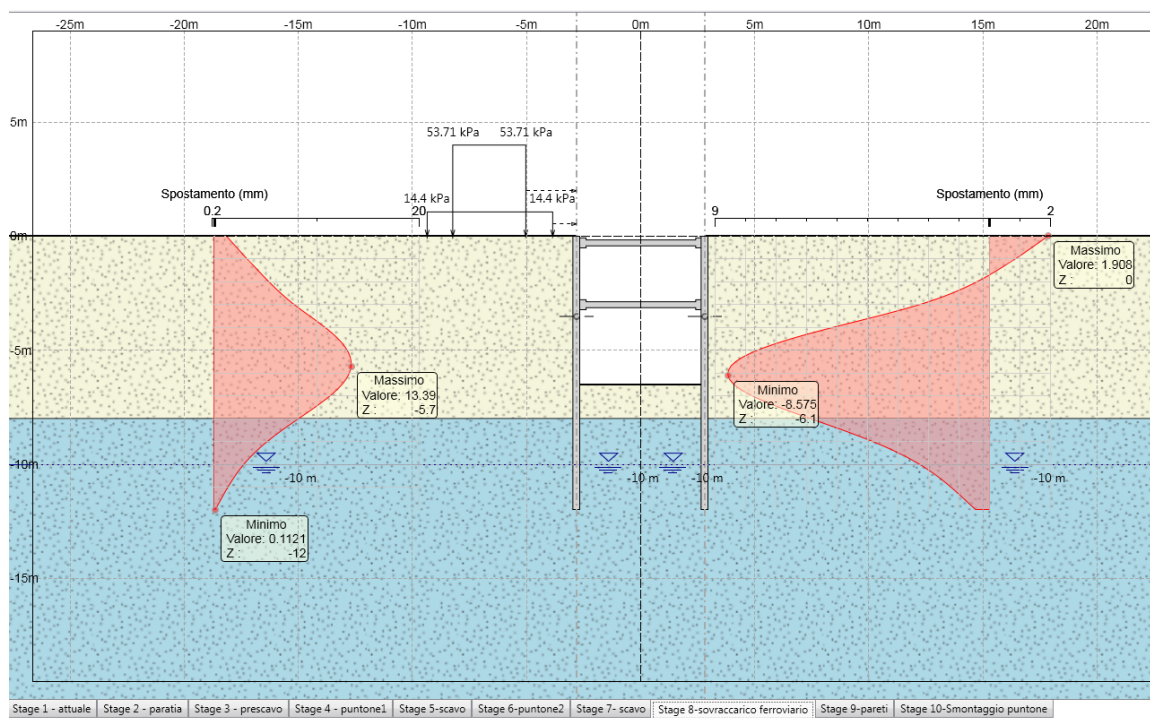


Figura 9-4 – Deformata dell'opera di sostegno in fase 8.

Nell'immagine che segue si riporta il cedimento atteso correlato alle deformate sopra discusse e che risponde a valori massimi di 13.27 mm.

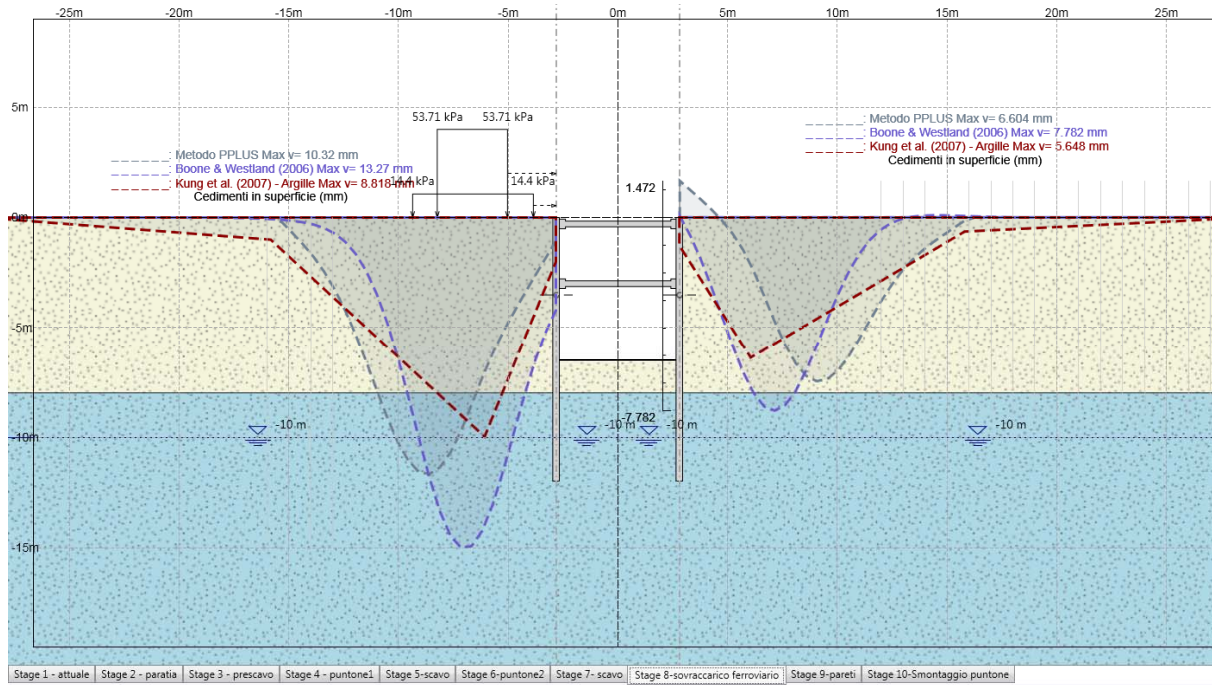


Figura 9-5 – Cedimenti in fase 8.

9.4.2 Verifica di stabilità globale

Come mostrato in Figura 9-6 il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a 2.11. Essendo tale valore maggiore di $\gamma_R = 1.1$ la verifica risulta soddisfatta.

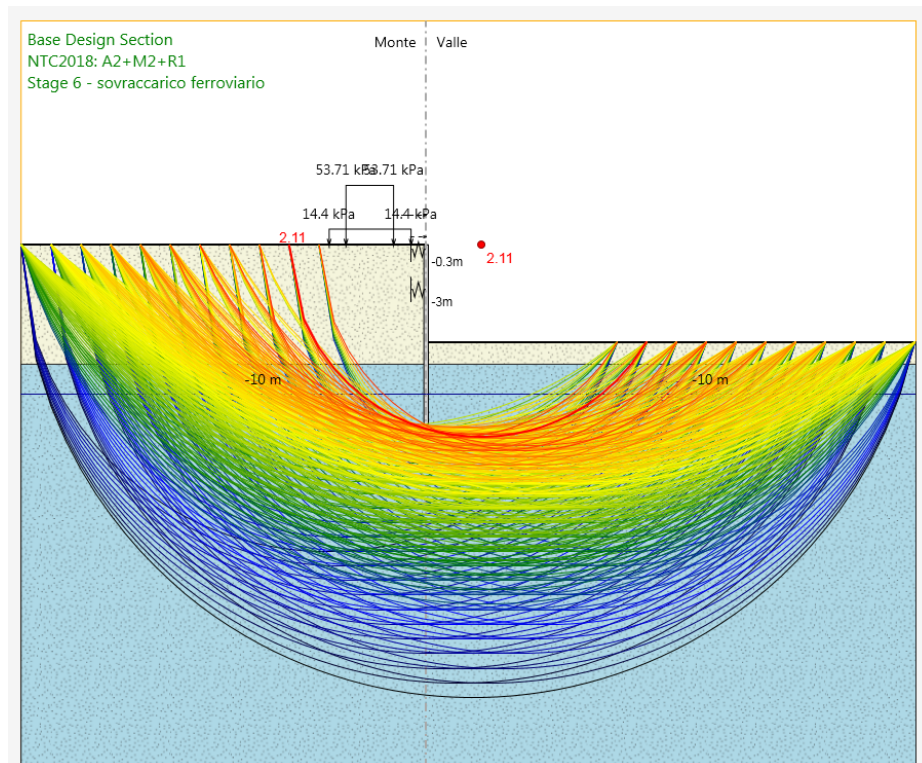


Figura 9-6 – Stabilità globale.

9.5 Verifiche strutturali

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. Figura 9-7 la classificazione della sezione di acciaio.

Diametro esterno nominale	D	219.10	[mm]
Spessore nominale	T	10.00	[mm]
Diametro interno nominale	d	199.10	[mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Area della sezione trasversale	A	65.7	[cm ²]
Momento d'inerzia	I	3598	[cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	7.40	[cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	328	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	438	[cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	7197	[cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	657	[cm ³]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	355	[MPa]
Coefficiente ε	ε	0.81	[-]
<u>Classificazione</u>			
Diametro	d	219.10	[mm]
Spessore	t	10.00	[mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	21.91	[-]
<i>Classificazione della sezione</i>		CLASSE 1	

Figura 9-7 – Classificazione sezione di acciaio.

9.5.1 Verifica micropali

In Figura 9-8 sono riportati i tassi di sfruttamento allo SLU del tubolare in acciaio. Tali valori sono sempre inferiori all'unità e pertanto la verifica risulta soddisfatta.

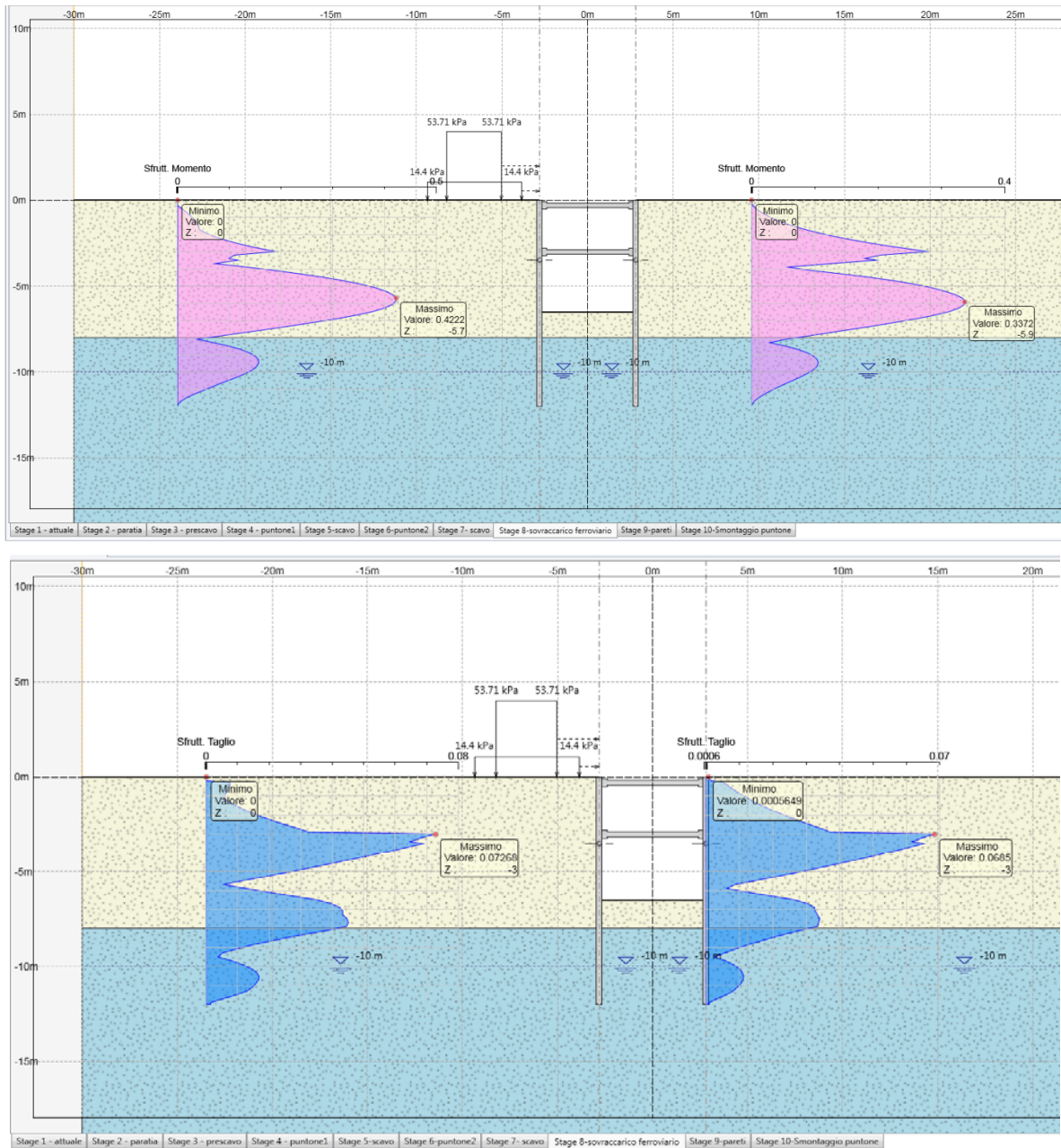


Figura 9-8 – Sfruttamento momento e taglio SLU.

9.5.2 Verifica puntone

Design Assumption:

Tiranti Puntoni 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	$\lambda_{lateral}$
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 4 - pu	5.586E-13	2.793E-12	0	0.002	0	0	0	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 5-sca	-32.71	-163.6	0.074	0.002	0.129	76	76	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 6-pur	-32.72	-163.6	0.074	0.002	0.129	76	76	0
punt_2	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 6-pur	-0.006912	-0.03456	0	0.002	0.017	76	76	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 7-sca	4.179	20.89	0.009	0.002	0	0	0	0
punt_2	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 7-sca	-163.3	-816.5	0.368	0.002	0.576	76	76	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 8-sov	4.22	21.1	0.009	0.002	0	0	0	0
punt_2	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 8-sov	-196	-980.2	0.441	0.002	0.688	76	76	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 9-par	4.22	21.1	0.009	0.002	0	0	0	0
punt_2	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 9-par	-196	-980.2	0.441	0.002	0.688	76	76	0
punt_1	CHS219.1*1	S355	5	5.64	NTC2018: A	Stage 10-Sn	-13.99	-69.94	0.031	0.002	0.065	76	76	0

9.5.3 Verifica trave di correa

N_{max} 196 kN/m
i 5
N 980 kN

HEB300

n_t	1	
f_{yk}	355	N/mm ²
γ_{M0}	1.05	
A_{vz}	47.4	cm ²
$W_{pl yy}$	1678	cm ³
t_w	11	cm
$p_d = p/n_t$ (kN/m)	196.0	
l (m)	5	
M_{Ed} (kNm)	490.00	
V_{Ed} (kN)	490.00	
$V_{pl Rd}$ (kN)	925.83	
ρ	0.003	
$M_{pl Rd}$ (kN)	567.3	
VERIFICHE		
$M_{pl Rd}/M_{Ed}$	1.16	ok
$V_{pl Rd}/V_{Ed}$	1.89	ok