

COMMITTENTE:



Aps Holding s.p.a.
Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento del Comune di Padova

IL DIRETTORE FUNZIONALE
Dott. Ing. Diego Galiazzo

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Arch. Gaetano Panetta

PROGETTAZIONE: MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE



MANDANTE



ITALFERR S.p.A.

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA
NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3**

LINEA DI CONTATTO

Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

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

NP00 00 D 18 CL LC00000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	D.Vergari <i>Vergari</i>	Aprile 2020	D.Vergari <i>Vergari</i>	Aprile 2020	A. Peresgo <i>Peresgo</i>	Aprile 2020	G. Guidi Buffarini <i>Guidi Buffarini</i> Aprile 2020

ITALFERR S.p.A.
U.O. Amministrazione
Ing. Guido Buffarini
Ordine Ingegneri Padova n° 17812

File: NP0000D18CLLC000002A.doc

n. Elab.:

 MANDATARIA ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
MANDANTE  <small>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</small>	MANDANTE  <small>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	MANDANTE  <small>SWISS</small>				
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	<small>COMMESSA</small> NP00	<small>LOTTO</small> 00 D 18	<small>CODIFICA</small> CL	<small>DOCUMENTO</small> LC0000 002	<small>REV.</small> A	<small>FOGLIO</small> 2 di 24

INDICE

1.	SCOPO	3
2.	DOCUMENTI DI PROGETTO	3
3.	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
4.	DESCRIZIONE DEI MATERIALI	5
4.1	OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO	5
5.	CRITERI DI VERIFICA DEI SOSTEGNI	8
5.1	VERIFICHE DI RESISTENZA DEL SOSTEGNO	8
5.2	VERIFICHE A TAGLIO	8
5.3	VERIFICHE A PRESSO-FLESSIONE RETTA (COMBINAZIONI STR-SISMA)	9
6.	CRITERI DI VERIFICA FONDAZIONI	10
6.1	VERIFICHE DI PORTANZA DELLA FONDAZIONE	10
6.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	11
6.3	CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE (A1+M2+R2)	12
6.4	VERIFICA A RIBALTAMENTO (A1 + M1 + R3)	15
6.5	VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)	17
7.	TABULATO DI CALCOLO DELLE VERIFICHE STRUTTURALI SOSTEGNO	18
8.	TABULATO DI CALCOLO DELLE VERIFICHE STRUTTURALI BLOCCO DI FONDAZIONE	20
9.	CONCLUSIONI	24

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>							
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>3 di 24</p>

1. SCOPO

Nel presente documento sono riportati i calcoli di verifica del sostegno tipo L29 e del relativo blocco di fondazione B1 impiegato nel sistema linea di contatto del TRAM di Padova SIR3, le cui sollecitazioni agenti alla base, sono state calcolate nel documento A[1] NP0000D18CLLC0000001A “Carichi massimi su pali tipo L29, L30, L31 e L32”.


Le caratteristiche dei pali L infissi sono le seguenti:

PALI TIPO L									
Tipo	Lunghezza totale [m]	Infissione [m]	Profili	Spessore [mm]	Jx [cm ⁴]	Wx [cm ³]	Jy [cm ⁴]	Wy [cm ³]	Peso del palo [kg]
L29a	9,45	1,20	2L 200x100	12	5403	338	5212	470	583
L30a	9,55	1,30	2L 200x100	14	7947	468	6120	549	700
L31a	9,55	1,30	2IPE 220	-	9877	617	8407	776	680
L32	11,5	1,45	2IPE 400	-	23220	1161	24300	1191	1400

2. DOCUMENTI DI PROGETTO

I documenti di progetto costituenti riferimento per la presente relazione di calcolo sono di seguito elencati:

CODIFICA	TITOLO
A[1] NP0000D18CLLC0000001A	Carichi massimi su pali tipo L29, L30, L31 e L32
A[2] NP0000D18SPLC0000001A	Specifica tecnica della linea di contatto
A[3] NP0000D18BZLC0000011A	Tabella blocchi di fondazione
A[4] NP0000D18ROLC0000001A	Relazione Tecnica Generale Linea di Contatto

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA, INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>LC0000 002</td> <td>A</td> <td>4 di 24</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	4 di 24
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	4 di 24								

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

La determinazione dei carichi, il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza vengono effettuati con i criteri della Scienza delle Costruzioni e con riferimento alle seguenti prescrizioni e norme:

- **D.M. del 17 Gennaio 2018:** Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).
- **CEI EN 50125-2:** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Condizioni ambientali per le apparecchiature - Parte 2: Impianti elettrici fissi.
- **CEI EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica.
- **UNI 7724** Materiale per linee aeree di contatto di ferrovie, tranvie e filovie. Pali tubolari di acciaio.
- **UNI EN 1990:2006 13/04/2006** Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.
- **UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004** Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici.
- **UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005** Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti.
- **UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005** Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- **UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005** Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- **UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005** Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- **UNI EN 10088-2:2014** Acciai inossidabili - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura delle lamiere, dei fogli e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi general
- **UNI EN 10088-3:2014** Acciai inossidabili - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura dei semilavorati, barre, vergella, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali.
- **UNI - EN 10025** Prodotti fini di acciaio non legato di base e di qualità limitati a caldo.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 5 di 24

4. DESCRIZIONE DEI MATERIALI


Per i materiali si farà riferimento al §6.4.6 delle CEI EN 50119 e al §11.3.4 delle NTC2018.

4.1 Opere in calcestruzzo armato

Per i calcestruzzi si fa riferimento alle normative UNI EN 206-1 (Specificazione, prestazione, produzione e conformità) e UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1).

- Struttura in fondazione

Classe di resistenza:	C25/30 (Rck300)
Classe di esposizione:	XC2
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica media:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice:	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione per flessione:	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm} = 3.08 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%):	$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%):	$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm} = 3.33 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità longitudinale N/mm ²	$E_{cm} = 22.000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 31476$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.1$
Coeff. espansione termica lineare	$\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$
Densità	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
Coefficiente sicurezza SLU	$\gamma_c = 1,50$
Resistenza di calcolo a compressione SLU	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c = 14.17 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) SLU	$f_{ctd} = 0.7 f_{ctk} / \gamma_c = 1.20 \text{ N/mm}^2$

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> 	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<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>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>LC0000 002</td> <td>A</td> <td>6 di 24</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	6 di 24
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	6 di 24								

Coefficiente sicurezza SLE	$\gamma_c = 1,00$
combinazione rara	$\sigma_{c,ad} = 0,60 f_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$
combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} = 0,45 f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$

- **Acciaio per calcestruzzo armato**

Acciaio per calcestruzzo armato tipo B 450 C secondo DM 14.01.2018 avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} > 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$
Rapporto	$1,15 < (f_t/f_y)_k < 1,35$ (frattile 10%)
Rapporto	$(f_y/f_y, \text{nom})_k < 1,25$ (frattile 10%)
Allungamento	$(A_{gt})_k > 7,5\%$ (frattile 10%)

Coefficiente sicurezza SLU	$\gamma_s = 1,15$
Resistenza di calcolo SLU	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,30 \text{ N/mm}^2$
Tensione di calcolo SLE	$\sigma_{y,ad} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$

Di seguito si riportano le caratteristiche degli acciai impiegati normalmente per i sostegni della trazione elettrica:

- **Acciaio:**

Modulo elastico	$E = 210.000$	N/mm^2
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1+\nu)]$	N/mm^2
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$	
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha_T = 12 \times 10^6$	$\text{per } ^\circ\text{C}^{-1}$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO												
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">LC0000 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">7 di 24</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	7 di 24
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	7 di 24								

Densità

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Le qualità degli acciai impiegate per la costruzione dei pali CT sono le seguenti (designazione UNI EN 10025-2) per spessore nominale dell'elemento $\leq 40\text{mm}$:

S355J2H

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$$

dove:

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

f_{tk} è la tensione caratteristica di rottura dell'acciaio

Per i fattori parziali di riduzione delle resistenze dei materiali si adotteranno i valori riportati nella tabella 2 (§ 6.4.3 CEI EN 50119):

Tipo struttura	γ_m
Resistenza delle sezioni trasversali sotto l'azione di forze di trazione e flessione	1,10
Resistenza degli elementi alla deformazione di compressione	1,10
Resistenza delle connessioni sotto l'azione di forze di taglio e portanti	1,25
Resistenza delle sezioni trasversali sulla base della sollecitazione ultima di trazione in condizioni di carico di trazione	1,25
Resistenza delle connessioni saldate	1,25
Resistenze dei bulloni in trazione	1,25
Funi metalliche sotto l'azione di forze di trazione	1,50

Le rispondenza dei materiali ai requisiti richiesti sarà valutata mediante le prescritte prove di accettazione.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>8 di 24</p>

5. CRITERI DI VERIFICA DEI SOSTEGNI

I sostegni della presente relazione sono verificati in accordo con le prescrizioni della NTC2018 in base ai seguenti criteri.

5.1 Verifiche di Resistenza del sostegno

Per ciascun stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto delle resistenze del sistema strutturale considerato.

5.2 Verifiche a Taglio

La verifica a taglio dei sostegni in oggetto della presente relazione viene eseguita in accordo al paragrafo 4.2.4.1.2.4 delle NTC 2018.

Occorre verificare che:

$$V_{Ed} < V_{c,Rd} \quad \text{La risultante delle azioni di taglio sia inferiore alla resistenza a taglio di calcolo.}$$

dove:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \times f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{ms}} \quad \text{Resistenza a taglio di calcolo (daN)}$$

$$A_v = A - 2btf + (tw + r)tf \quad \text{Area di Taglio per profilati a C (cm²)}$$

Dove:

b =larghezza delle ali;

tf =spessore delle ali;

tw =spessore dell'anima

E' possibile non considerare il contributo del taglio nella flessione se:

$$V_{Ed} < 0.5V_{c,Rd}$$

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>9 di 24</p>

5.3 Verifiche a Presso-Flessione Retta (Combinazioni STR-SISMA)

La verifica a presso-flessione biassiale (di resistenza) viene eseguita in accordo al paragrafo 4.2.4.1.2.8 delle NTC 2018.

Occorre, cautelativamente verificare che:

$$M_{x,Ed}/M_{N_{x,Ed}} + M_{y,Ed}/M_{N_{y,Ed}} \leq 1$$

La somma dei rapporti tra i momenti agenti nelle due direzioni di progetto e i momenti resistenti della sezione nelle due direzioni sia inferiore o uguale a 1.

In particolare:

1. Verifica di Resistenza			
descrizione	Simbolo	U.M.	ila/Rif. Normativo
Azione normale plastica di calcolo	$N_{pI,Rd}$	daN	$A f_{yk} / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
limitazione piano x-x		daN	$0,25 \times N_{pI,Rd}$
limitazione piano x-x		daN	$0,5 h w t w f y / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
limitazione piano y-y		daN	$h w t w f y / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
Verifica combinazione			
piano x-x			No contributo azione normale
piano y-y			No contributo azione normale
Rapporto	n		$N_{Ed} / N_{pI,Rd}$
Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. X	$M_{N_{x,Rd}}$	daNm	$W_{pl,x} f_{yk} / \gamma_{Ms}$
Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. Y	$M_{N_{y,Rd}}$	daNm	$W_{pl,y} f_{yk} / \gamma_{Ms}$
Verifica di resistenza		OK	$(M_{x,Ed} / M_{N_{x,Rd}}) + (M_{y,Ed} / M_{N_{y,Rd}}) \leq 1$

La verifica viene svolta considerando sia la combinazione di carico massima calcolata.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 10 di 24

6. CRITERI DI VERIFICA FONDAZIONI

Le fondazioni oggetto della presente relazione sono verificate in accordo con le prescrizioni della NTC2018 in base ai seguenti criteri.

6.1 Verifiche di portanza della fondazione

Per ciascun stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico considerato. Il valore di progetto delle azioni può essere espresso come:

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

Ovvero:

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

Dove $\gamma_E = \gamma_F$, F_k è il valore caratteristico delle azioni, X_k è il valore caratteristico dei parametri del terreno.

Il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico può essere espresso come:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto del terreno X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = \gamma_E E_k$. Nella formulazione delle resistenze R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulle resistenze del sistema. La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 11 di 24

6.2 Verifiche agli Stati Limite

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza sono scelti nell'ambito di due approcci di analisi distinti e alternativi:

Approccio 1

Combinazione 1: (A1+M1+R1) – SLU (STR)

Combinazione 2: (A2+M2+R2) – SLU (GEO)

Approccio 2

Combinazione 1: (A1+M1+R3)

Le verifiche vengono effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I del D.M. 17/01/2018. In particolare di seguito vengono riportate le suddette tabelle.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 1 – Coefficienti parziali Azioni

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 12 di 24

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
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 2 – Coefficienti parziali Parametri

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE		
	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Tabella 3– Coefficienti parziali Resistenze

6.3 Capacità Portante Fondazione (A1+M2+R2)


La verifica della capacità portante del terreno di fondazione è svolta in accordo con le NTC2018.

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra il carico verticale di esercizio in fondazione e il carico limite per il terreno. La stabilità della base della fondazione nei riguardi di un superamento della capacità portante viene assicurata applicando alla capacità portante ultima calcolata un fattore di sicurezza maggiore uguale a 2,3.

Per il calcolo della capacità portante si è adottato il metodo descritto in “Lancellotta- Geotecnica- Ed. Zanichelli .- 1993” basato sulle indicazioni teoriche di diversi autori (Terzaghi, Meyerof, Vesic e Brinch Hansen) che fornisce la seguente espressione generale per la valutazione della pressione limite di rottura del terreno:

$$q_{lim} = c' N_c D_c s_c + q_o' N_q D_q s_q + 0,5 \gamma' A N_\gamma D_\gamma s_\gamma$$

dove:

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>13 di 24</p>

- γ = Peso di volume efficace del terreno di fondazione;
- c', ϕ' = Parametri di resistenza al taglio del terreno di fondazione in condizioni drenante;
- A' = Dimensione efficace della fondazione, funzione dell'eccentricità dei carichi;
- q_0' = Pressione efficace litostatica verticale al livello del piano di posa della fondazione;
- N_g, N_c, N_γ = Fattori di capacità portante funzione della resistenza al taglio;
- S_g, S_c, S_γ = Fattori di forma dipendenti dal rapporto fra le dimensioni dell'impronta della fondazione;
- D_g, D_c, D_γ = Fattori di profondità funzione del rapporto fra l'approfondimento del piano di posa e le dimensioni reali della fondazione;

Altri simboli utilizzati nelle verifiche:

- B = dimensione reale della fondazione longitudinale al binario;
- A = dimensione reale della fondazione trasversale al binario;
- A_{ef} = $B' \times A'$ = area efficace della fondazione;
- e_T = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione trasversale al binario;
- e_L = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione longitudinale al binario;

La pressione ammissibile netta vale:

$$P_{amm} = (q_{lim} - q_0') / FS + q_0'$$

Le dimensioni efficaci della fondazione sono valutate tramite le seguenti espressioni (Meyeroff, 1953):

$$B' = B - 2e_T$$

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>14 di 24</p>

$$A' = A - 2e_L$$

Per il calcolo dei fattori di capacità portante N_q e N_c si farà riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl (1921) e da Reissner (1924). Per il fattore N_γ si fa riferimento all'espressione proposta da Caquot e Kérisel (1953):

$$N_q = \tan^2(\pi/4 + \phi'/2) e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Per i coefficienti di forma si adottano le seguenti espressioni:

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot (B'/A') \cdot K_p$$

$$K_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot (B'/A') \cdot K_p$$

$$s_q = s_\gamma$$

Per tener conto dell'approfondimento del piano di posa si adottano le seguenti espressioni:

$$d_\gamma = 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot k$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \tan \phi')$$

essendo:

$$k = (D_f / A) \quad \text{per } D_f / A \leq 1$$

$$k = \tan^{-1}(D_f / A) \quad \text{per } D_f / A > 1$$

La forza verticale limite vale:

$$F_{zlim} = q_{lim} \times A_{ef}$$

Il fattore di sicurezza della capacità portante può essere espresso come:

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO				
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 15 di 24

$$FC = q_{LIM} / [(N_{Ed} + P_b) / A_{ef}]$$

Dove q_0 è la pressione litostatica verticale al livello del piano di posa della fondazione.

6.4 Verifica a Ribaltamento (A1 + M1 + R3)

La verifica è svolta secondo le prescrizioni della NTC 2018 e CEI EN 50119 par. 6.5.7, considerando la combinazione più gravosa.

Per fondazioni caricate mediante sollecitazioni trasversali e longitudinali rispetto al binario si avrà:

$$M_{rib,T} = M_T + (T_T \times (C+C1) + M_{Sa,T} + c_x * M_{Si,BI} \text{ (solo caso sismico)}) \text{ (momento ribaltante trasversale)}$$

$$M_{rib,L} = M_L + (T_L \times (C+C1) + M_{Sa,L} + c_y * M_{Si,BI} \text{ (solo caso sismico)}) \text{ (momento ribaltante longitudinale)}$$

$$M_{res,T} = [N_{ed} \times A_2 + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times A_2 \times 0.9 + M_{sp,T} [N_{ed} \times (A-A_2) + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times (A-A_2) \times 0.9 + M_{sp,T} * \text{ContrTerreno} \text{ (momento stabilizzante trasversale nel caso di Momento ribaltante totale positivo)}$$

$$M_{res,T} = [N_{ed} \times A_2 + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times A_2 + M_{sp,T} [N_{ed} \times (A-A_2) + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times (A-A_2) \times 0.9 + M_{sp,T} * \text{ContrTerreno} \text{ (momento stabilizzante trasversale nel caso di Momento ribaltante totale negativo)}$$

$$M_{res,L} = (N_{Ed} + P_b + \gamma \times C_1 \times A \times B) \times B/2 + M_{sp,L} \text{ (momento stabilizzante longitudinale)}$$

$$S_{p,T} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times B \text{ (da non considerare nel lato opposto al binario)}$$

$$S_{p,T} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times B_x (1-k_v) \text{ (da non considerare nel lato opposto al binario nel caso sismico)}$$

$$S_{p,L} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times A$$

$$S_{p,L} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times A (1+k_v) \text{ (nel caso sismico)}$$

$$S_{i,BI} = P_{bl} \times K_h \text{ (nel caso sismico)}$$

$$(K_p = (1 + \sin\phi') / (1 - \sin\phi')) \text{ (coefficiente di spinta passiva)}$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO												
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">LC0000 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">16 di 24</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	16 di 24
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	16 di 24								

$M_{sp,T} = (C+C1)/3 \times S_{p,T}$ (momento dovuto alla spinta passiva in direzione trasversale)

$M_{sp,L} = (C+C1)/3 \times S_{p,L}$ (momento dovuto alla spinta passiva in direzione longitudinale)

$M_{si,BL} = (C+C1)/2 \times S_{i,BL}$ (momento dovuto alla massa inerziale nel caso sismico)

dove:

N_{Ed} = carico verticale totale agente alla base del blocco [kN]

P_b = peso del blocco di fondazione

A = lato inferiore fondazione direzione trasv. al binario [m]

B = lato inferiore fondazione direzione long. al binario [m]

C = Altezza lato opposto al binario del blocco di fondazione [m]

$A1$ = lato superiore fondazione direzione trasv. al binario [m]

$B1$ = lato superiore fondazione direzione long. al binario [m]

$C1$ = Differenza Altezza del blocco di fondazione- ($C_{tot}-C$) [m]

C_{tot} = Altezza totale lato binario del blocco di fondazione [m]

K_h = coefficiente sismico orizzontale

K_v = coefficiente sismico verticale

c_x = coefficiente amplificazione dei carichi sismici in direzione trasversale


c_y = coefficiente amplificazione dei carichi sismici in direzione longitudinale

T_T = azione di taglio trasversale agente nel punto di incastro del palo [kN]

T_L = azione di taglio longitudinale agente nel punto di incastro del palo [kN]

γ = peso di unità di volume del terreno di fondazione

ϕ' = angolo di attrito del terreno

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA, INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>17 di 24</p>

La verifica è soddisfatta se:

$$M_{rib,T} / (M_{res,T}) + M_{rib,L} / (M_{res,L}) \leq 1 \text{ (formula 15 della CEI EN 50119)}$$

6.5 Verifica a Scorrimento (A1+M1+R3)

Per la verifica a scorrimento del blocco lungo il piano di fondazione deve risultare, che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa, che tendono a fare scorrere la fondazione, deve essere minore di tutte le forze parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. In particolare, la Normativa, richiede che il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scorrimento F_R e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s sia:

$$F_R / F_s \geq R_3 = 1,1 \text{ per l'approccio 2}$$

Con F_s , somma delle componenti della spinta parallela al piano di posa (taglio massimo), e con F_R , la forza resistente.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione, N_{Ed} e P_b sono rispettivamente il carico totale di calcolo agente sul blocco e il peso del blocco stesso, indicando con " δ " l'angolo d'attrito fondazione si avrà:

$$F_r = (N_{Ed} + P_b) \times \tan \delta$$

Si assume un valore di " δ " pari a 2/3 dell'angolo d'attrito del terreno.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">SERVIZIO INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>					<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">SWISS</p>	
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1		COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0000 002	REV. A	FOGLIO 18 di 24

7. TABULATO DI CALCOLO DELLE VERIFICHE STRUTTURALI SOSTEGNO

Nel seguente capitolo sono riportate i tabulati di calcolo delle verifiche strutturali del sostegno.

CARICHI ALLA BASE TOTALI - CASO DI CARICO							
Simbolo	Formula	Caso A1	Caso A2	Caso B	Caso C	Caso D	U.M.
N		1285	1285	1285	1293	1293	daN
T		982	773	1398	868	1183	daN
M		5244	4070	7128	4631	6173	daNm

Verifiche sostegno T.E.			
Caratteristiche sezione			
Simbolo	descrizione	Valore	U.M.
A	Area della sezione	69,60	cm ²
W _{elz}	Modulo elastico dir. Z	338,00	cm ³
W _{ely}	Modulo elastico dir. Y	470,00	cm ³
J _z	Momento inerzia dir. Z	5403,00	cm ⁴
J _y	Momento inerzia dir. Y	5212,00	cm ⁴
W _{plz}	Modulo plastico dir. Z	338,00	cm ³
W _{ply}	Modulo plastico dir. Y	470,00	cm ³
I _w	Costante di warping	5403,00	cm ⁶
h _f	Altezza ali	20,00	cm
t _f	spessoreali	1,20	cm
h _w	Altezza anima	10,00	cm
t _w	spessore anima	1,20	cm
r	Raggio di curvatura	1,20	cm
Av	Area di taglio della sezione palo	48,00	cm ²
hft	Altezza palo fuori terra	8,25	m
Materiali			
	Qualità acciaio	S355JR	
E	Modulo elastico	210000,00	N/mm ²
G	Modulo di taglio	80769,23	N/mm ²
ν	Coefficiente di Poisson	0,30	
ρ	Densità	7850,00	kg/m ³
f _{yk}	Tensione di snervamento caratt.	355,00	N/mm ²

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
MANDANTE	MANDANTE	MANDANTE						
 <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	 <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	 <p>SWISS</p>						
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
			NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	19 di 24

f_{uk}	Tensione di rottura caratt.	510,00	N/mm ²					
γ_{ms}	coeff. Di sicurezza	1,05						
f_{yd}	Tensione di snervamento di calc.	338,10	N/mm ²					
f_{ud}	Tensione di rottura di calc.	485,71	N/mm ²					

Carichi alla base del palo

Simbolo	descrizione	Valore	U.M.					
$N_{ed,parz.}$	Valore di calcolo azione verticale parizale	702,30	daN					
P_{palo}	Peso del palo	583,00	daN					
N_{ed}	Valore di calcolo azione verticale tot.	1285,30	daN					
$V_{ed,z}$	Azione orizzontale dir. Z	1398,26	daN					
$V_{ed,y}$	Azione orizzontale dir. Y	0,00	daN					
$M_{ed,z}$	Momento flettente dir. Z	7127,61	daNm					
$M_{ed,y}$	Momento flettente dir. Y	0,00	daNm					

Verifica di Resistenza palo

Simbolo	descrizione	Valore	U.M.	FORMULA				
$N_{pl,Rd}$	Azione normale plastica di calcolo	235314,29	daN	$Af_{yk}/\gamma_{Ms} \times 10^{-1}$				
	limitazione piano y-y	58828,57	daN	$0,25 \times N_{pl,Rd}$				
	limitazione piano y-y	40571,43	daN	$0,5hwtwfy/\gamma_{Ms} \times 10^{-1}$				
	limitazione piano z-z	81142,86	daN	$hwtwfy/\gamma_{Ms} \times 10^{-1}$				
	piano y-y	NO CONTRIBUTO AZIONE NORMALE						
	piano z-z	NO CONTRIBUTO AZIONE NORMALE						
n	Rapporto	0,01		$N_{ed}/N_{pl,Rd}$				
$M_{N,y,Rd}$	Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. Y	15890,48	daNm	$W_{pl,y} \times fyk/\gamma_{Ms}$				
$M_{N,z,Rd}$	Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. Z	11427,62	daNm	$W_{pl,z} \times fyk/\gamma_{Ms}$				
	Verifica di resistenza	0,62	OK					
$V_{c,Rd}$	Taglio resistente di calcolo	93695,70	daN					
	Verifica	$V_{ed} < 50\% V_{c,Rd}$			NON CONSIDERARE CONTRIBUTO TAGLIO			

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA NP00</p>	<p>LOTTO 00 D 18</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO LC0000 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 24</p>

8. TABULATO DI CALCOLO DELLE VERIFICHE STRUTTURALI BLOCCO DI FONDAZIONE

Nel seguente capitolo sono riportate i tabulati di calcolo delle verifiche del blocco di fondazione.

VERIFICA BLOCCO DI FONDAZIONE B1 per palo L29 (Combinazione più gravosa)			
Materiali			
Calcestruzzo armato			
<u>Descrizione</u>	<u>Valore</u>	<u>U.M.</u>	<u>Formula</u>
<i>fck</i>	25,00		
γ_c	1,50		
<i>acpl e actpl per cls non armato</i>	1,00		Armato valore 1,0
Resistenza a compressione (fcd)	16,67	[Mpa]	$acpl fck / \gamma_c$
<u>(fctk,0.05)frattile 5%</u>	1,80	[Mpa]	$0,7(0,3 fck^{(2/3)})$
Modulo elastico (Ecm)	30	[Gpa]	
Resistenza a trazione (fctd)	1,197	[Mpa]	$actpl fctk / \gamma_c$
μ per fcd<50MPa	1,00		
Resistenza a sforzo Normale (Nrd)	54000	KN	$\mu fcd a b$
Resistenza a taglio (Nrd)			
Peso specifico (γ_{cls})	25,00	[kN/m ³]	
Resistenza a taglio e compressione di progetto (fcvd)	1,20	[Mpa]	$radq(fctd^2 + \sigma_{cp} fctd)$
Terreno			
<u>Descrizione</u>	<u>Valore</u>	<u>U.M.</u>	<u>Formula</u>
Peso specifico (γ) M1/M2	18	[kN/m ³]	
Angolo di attrito (ϕ') M1	28	[°]	
Angolo di attrito (ϕ') M1	0,489	rad	
Coesione drenata (c')	0	[kN/m ²]	
Dimensioni blocco di fondazione			
<u>Descrizione</u>	<u>Valore</u>	<u>U.M.</u>	<u>Formula</u>
Lato (a)	180	[cm]	Lato trasv. binario
Lato (b)	180	[cm]	Lato long. binario
Altezza (c)	150	[cm]	altezza
Lato baggiolo (a1)	0	[cm]	Lato trasv. binario
Lato baggiolo (b1)	0	[cm]	Lato long. binario

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO
Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1	COMMESSA NP00 LOTTO 00 D 18 CODIFICA CL DOCUMENTO LC0000 002 REV. A FOGLIO 21 di 24

Altezza baggiolo (c1)	0	[cm]	altezza
Hc1 profondità interrimento lato binario	150	[cm]	
Hc2 profondità interrimento lato esterno ferrovia	150	[cm]	
Area di base	3,24	[m ²]	axb
Volume	4,86	[m ³]	axbxc+a'xbx'c'
Peso (Pb)	121,5	[kN]	$\gamma_{cls}xV$
Modulo di resistenza (Wx)	0,972	[m ³]	axb ² /6
Modulo di resistenza (Wy)	0,972	[m ³]	a ² xb/6
Eccentricità carico (Eccx)	0	[cm]	
A2 (distanza asse palo / filo blocco di fondazione)	90	[cm]	A/2-Eccx
Carichi (condizioni statiche più gravose)			
<u>Descrizione</u>	<u>Valore</u>	<u>U.M.</u>	<u>Formula</u>
Azione verticale (N)	8,67	[kN]	
Momento trasversale (M _T)	73,00	[kNm]	
Taglio trasversale (T _T)	14,00	[kN]	
Momento longitudinale (M _L)	0,00	[kNm]	
Taglio longitudinale (T _L)	0,00	[kN]	
VERIFICHE GEOTECNICHE			
1. Verifica a Ribaltamento (A1+M1+R3) - NTC2018 + CEI EN 50119			
<u>Descrizione</u>			<u>Formula</u>
Momento ribaltante di calcolo direzione trasversale (M _{rib,T})	100,58	[kNm]	$M_T + (T_T \times (C1+C)) + MSa,T$
Coefficiente spinta passiva (Kp)	2,77		$[(1+\text{sen}(\phi'))/(1-\text{sen}(\phi'))]$
Coefficiente spinta attiva (Ka = 1 / Kp)	0,36		
Spinta attiva del terreno direzione trasversale (Sa,T)	13,16	[kN]	$1/2 \times \gamma_d \times C^2 \times B / k_p$
Spinta passiva del terreno direzione trasversale (Sp,T) [per sicurezza si considera il 50%]	50,48	[kN]	$(1/2k_p \times \gamma_d \times C^2 \times B) \times 0,5$
Momento resistente del terreno (Msp,T)	25,24	[kNm]	$(Sp,T \times Hc1/3)$
Momento ribaltante del terreno (Msa,T) spinta attiva	6,58	[kNm]	$(Sa,T \times Hc1/3)$
Momento stabilizzante (MsT)	142,39	[kNm]	$[Ned \times A2] + (AxBxCx\gamma_{cls}) \times (A/2) + ((A1xB1xC1x\gamma_{cls})) \times A2 + Msp,T$
VERIFICA AL RIBALTAMENTO (trasversale)	1,42		Ms,T / Mrib,T
> 1,15			VERIFICATO
Momento ribaltante di calcolo direzione longitudinale	6,58		$M_L + (T_L \times (C1+C)) + MSa,L$
Coefficiente spinta passiva (Kp)	2,77		$[(1+\text{sen}(\phi'))/(1-\text{sen}(\phi'))]$
Coefficiente spinta attiva (Ka = 1 / Kp)	0,36		$[(1-\text{sen}(\phi'))/(1+\text{sen}(\phi'))]$
Spinta attiva del terreno direzione long. (Sa,L)	13,16	[kN]	$1/2 \times \gamma_d \times C^2 \times A / k_p$
Spinta passiva del terreno direzione long. (Sp,L)	100,96	[kN]	$1/2k_p \times \gamma_d \times C^2 \times A$
Momento resistente del terreno (Msp,L)	50,48	[kNm]	$(Sp,L \times Hc1/3)$
Momento ribaltante del terreno (Msa,L) spinta attiva	6,58	[kNm]	$(Sa,L \times Hc1/3)$
Momento stabilizzante (Ms,L)	167,63	[kNm]	$[(N+(Pb)) \times (b/2) + Msp,L]$
VERIFICA AL RIBALTAMENTO (longitudinale)	25,48		Ms,L / Mrib,L
> 1,15			VERIFICATO

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>							
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>22 di 24</p>

2. Verifica a Scorrimento (Approccio 2 A1+M1+R3) - NTC2018			
Descrizione	Valore	U.M.	Formula
Coefficiente di attrito fondazione - terreno	19		$2/3\phi' = \delta$
coefficiente di attrito fondazione terreno di progetto (at)	0,338		$\tan\delta$
Azione di progetto (Fs)	14,0	[kN]	$T_T + T_L$
Forza resistente (Fr)	44,0	[kN]	$(N+Pb) * at$
Verifica	3,14		$(Fr/Fs) > 1,1$
	>1,1 VERIFICATO		
3. Carico Limite del terreno (Approccio 1 A2+M2+R2) - NTC2018			
Descrizione	Valore	U.M.	Formula
Azione verticale di calcolo (N _{ED})	13,00	[kN]	$1,5 \times N$
Azione di taglio in direzione trasversale (T _T)	14,00	[kNm]	
Momento flettente trasversale (M _T)	73,00	[kN]	
Azione di taglio in direzione longitudinale (T _L)	0,00	[kNm]	
Momento flettente longitudinale (M _L)	0,00	[kN]	
Momento ribaltante (M _{rib,T})	107,16	[kNm]	$M_T + [T_T \times (C+C1)] + M_{sa,T}$
Momento ribaltante (M _{rib,L})	19,74	[kNm]	$M_L + [T_L \times (C+C1)] + M_{sa,L}$
Coefficiente spinta passiva (K _p)	2,20		$[(1+\sin(\phi')/1,25)/(1-\sin(\phi')/1,25)]$
Coefficiente spinta attiva (K _a = 1/ K _p)	0,45		
Momento resistente dovuto al contributo del terreno T	20,07	[kNm]	$(\gamma_{2d} \times k_p \times (B \times C^3/6))^*0,5$
Momento resistente dovuto al contributo del terreno L	20,07	[kNm]	$(\gamma_{2d} \times k_p \times (A \times C^3/6))^*0,5$
eccentricità in direzione trasversale (e _T)	0,65	[m]	$(M_{Ttot}-M_t+N_{ed} \times eccx) / [P_b + N_{ed}]$
eccentricità in direzione longitudinale (e _L)	0	[m]	$(M_{Ltot}-M_t) / [P_b + N_{ed}]$
Base equivalente (B')	1,8	[m]	$B-2e_L$
Base equivalente (A')	0,51	[m]	$A-2e_T$
Fattore di capacità portante (N _q)	8,15		$\tan^2(\pi/4+\phi'/2)e^{\pi \tan\phi'/1,25}$
Fattore di capacità portante (N _c)	17,34		$(N_q-1)/\tan\phi'/1,25$
Fattore di capacità portante (N _γ)	7,54		$2 \times (N_q+1) \times \tan\phi'/1,25$
Fattore di forma (s _c)	2,57		$1+0.2 \times (B'/A') \times K_p$
Fattore di forma (s _q)	1,79		$1+0.1 \times (B'/A') \times K_p$
Fattore di forma (s _γ)	1,79		s _q
Fattore di affondamento (d _c)	1,56		$d_q(1-d_q) / (N_c \times \tan\phi'/1,25)$
Fattore di affondamento (d _q)	1,50		$1+2 \times \tan\phi'/1,25 \times (1-\sin\phi'/1,25)^2 \times 1/\tan(Df/A')$
Fattore di affondamento (d _γ)	1,00		
Sovraccarico laterale (q _{0'})	27,00	[kN/m ²]	$\gamma_{2d} \times (C+C1/2)$

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>23 di 24</p>

Carico limite Fondazione (qlim)	648,53	[kN/m ²]	$c'NcDcsc + q0'NqDqsq + 0,5\gamma A'NyD\gamma\gamma$
Carico limite Fondazione (Fzlim)	589,58	[kN]	$qlim \times A' \times B'$
Fattore di sicurezza capacità portante (FC)	3,98		$Fzlim / [(Ned + Pb) / A' \times B']$
>2,3	VERIFICATO		Tabella 6.4.I NTC2018

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> SDAprogetti ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> ERREBI SERVIZIO INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> PINI SWISS</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Verifica Palo tipo L29 e blocco di fondazione B1</p>	<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>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>LC0000 002</td> <td>A</td> <td>24 di 24</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	24 di 24
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	LC0000 002	A	24 di 24								

9. CONCLUSIONI

In conclusione è emerso che il sostegno tipo L29 ed il relativo blocco di fondazione B1 analizzato, per la configurazione di carico in oggetto alla presente relazione, è idoneo a sostenere i carichi ad esso applicati.