

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**ALBERTO BITOSSO**  
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO  
**ANTONIO ROSSA**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER  
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



**IMPIANTI DI TRAZIONE ELETTRICA  
RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

*Dott. Ing. Alessandro Peresso*

SCALA:

-

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

E 2 1 D 0 0 D Z 2 C L L C 0 0 0 0 0 0 0 1 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	ETS	08/2021	D. Romano	08/2021	G. Parietti	08/2021	A. Peresso
B	AGGIORNAMENTO	ETS	01/2022	D. Romano	01/2022	G. Parietti	01/2022	<i>A. Peresso</i>
C	REVISIONE A SEGUITO COMMENTI	ETS	02/2022	D. Romano	02/2022	G. Parietti	02/2022	
D	VARIAZIONE TEAM DI COMMESSA	ETS	05/2022	D. Romano	05/2022	G. Parietti	05/2022	

File: NOME FILE: E21D00DZ2CLLC0000001\_D

n. Elab.:

**RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	2 di 36

<b>1.</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b>	<b>4</b>	
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>	
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>4</b>	
3.1	Magrone C16/20		4
3.2	Calcestruzzo C28/35		4
3.3	Acciaio B450C		4
3.4	Acciaio S355J2H pali T.E.		5
3.5	Copriferro minimo per la durabilità		5
<b>4.</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>6</b>	
<b>5.</b>	<b>AZIONI SOLLECITANTI</b>	<b>7</b>	
5.1	Sollecitazioni palo tipo M28		7
5.2	Sollecitazioni palo tipo M29a		7
5.3	Sollecitazioni palo tipo M30a		8
5.4	Sollecitazioni palo tipo M32a		8
5.5	Azione del vento		9
<b>6.</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b>	<b>11</b>	
6.1	Criteri generali di verifica		11
<b>7.</b>	<b>VERIFICHE</b>	<b>13</b>	
7.1	Plinto M28 – 1,80 x 1,80 x 1,50 m		13
7.2	Plinto M29a – 2 m x 2 m x 1,8 m		16
7.3	Plinto M30a – 2,20 m x 2,20 m x 2,40 m		18
7.4	Plinto M32a – 2,60 m x 2,60 m x 2,40 m		21

**RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	3 di 36

<b>8.</b>	<b>STAFFAGGIO A STRUTTURE ESISTENTI</b>	<b>24</b>
8.1	Verifica ancoraggi M28	24
8.2	Verifica ancoraggi M29a	25
8.3	Verifica ancoraggi M30a	26
<b>9.</b>	<b>PLINTO PMV</b>	<b>27</b>
9.1	Azione del vento	27
9.2	Verifica del plinto	27
<b>10.</b>	<b>PALO T.E. PLINTO SU PALO</b>	<b>29</b>
10.1	Calcolo della capacità portante	30
10.2	Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati	30
10.2.1	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata laterale.	30
10.2.2	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per il modulo di reazione orizzontale.	30
10.2.3	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.	30
10.2.4	M32a	31
10.3	Verifiche	33
10.4	Verifica: Capacità portante	33
10.5	Verifica di resistenza delle sollecitazioni	34
<b>11.</b>	<b>PLINTO PANNELLO TOUCH SCREEN</b>	<b>35</b>

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>4 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	4 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	4 di 36								

## 1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente relazione riguarda il calcolo e le verifiche strutturali dei plinti della Trazione Elettrica e del collare di staffaggio alle strutture esistenti.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le opere sono calcolate e verificate in conformità alle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare n.7/C.S.LL.PP. del 21 gennaio 2019

## 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per i materiali con cui verranno realizzate le opere, si considerano le seguenti caratteristiche meccaniche.

### 3.1 Magrone C16/20

Il magrone avrà classe di resistenza C16/20.

### 3.2 Calcestruzzo C28/35

- Classe di esposizione XC2
- Classe di consistenza S4
- Rapporto massimo  $a/c = 0.55$
- Copriferro minimo 30 mm
- Resistenza caratteristica a compressione  $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico a breve termine  $E = 32588 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Poisson  $\nu = 0,20$

### 3.3 Acciaio B450C

- Modulo elastico  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{yk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo  $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- Tensione massima  $\sigma_s = 360 \text{ N/mm}^2$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>5 di 36</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	5 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	5 di 36								

### 3.4 Acciaio S355J2H pali T.E.

I pali sono realizzati in acciaio strutturale S355J2H (Fe510B). Per spessori inferiori a 16 mm le proprietà meccaniche sono le seguenti:

- Resistenza a snervamento  $f_y = 355 \text{ MPa}$
- Resistenza a rottura  $f_u = 510 \text{ MPa}$
- Massa volumica  $\rho = 7850 \text{ daN/m}^3$
- Modulo di elasticità a 20°C  $E = 210 \text{ GPa}$

### 3.5 Copriferro minimo per la durabilità

Ai fini della durabilità dell'opera, il copriferro minimo nominale dipende dalla classe di resistenza del calcestruzzo e dal grado di aggressività dell'ambiente in cui sorge il manufatto. Per la determinazione del copriferro si assume a titolo cautelativo un ambiente di tipo aggressivo.

Pertanto si procede alla determinazione del copriferro secondo la tabella C4.1.IV della circolare applicativa del DM 14 gennaio 2018.

		C <sub>min,dur</sub> piastre (solette, pareti) con V <sub>N</sub> =50		
Ambiente	R <sub>ck,min</sub>	R <sub>ck,max</sub>	R <sub>ck,min</sub> ≤ R <sub>ck</sub> < R <sub>ck,max</sub>	R <sub>ck</sub> ≥ R <sub>ck,max</sub>
aggressivo	35	50	30	25

La classe di resistenza del calcestruzzo utilizzato ( $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ ) ricade nell'intervallo tra la classe di resistenza minima e massima previste ( $R_{ck,min} \leq R_{ck} < R_{ck,max}$ ).

Quindi per la durabilità il copriferro minimo nominale di progetto necessario risulta:

$$C_{min,dur} = 30 \text{ mm}$$

A questo valore si aggiunge una **tolleranza di posa  $\Delta C_{dev}$  pari a 10 mm**. Pertanto il copriferro che sarà assunto risulta:

$$C_{nom} = C_{min,dur} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{nom} = 30 + 10 = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>6 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	6 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	6 di 36								

## 4. PARAMETRI GEOTECNICI

Nel presente capitolo verrà fornita una descrizione sintetica della caratterizzazione geotecnica adottata per l'area in esame e delle metodologie di dimensionamento geotecnico dei plinti.

Si riporta di seguito la sintesi della caratterizzazione geotecnica e sismica per l'area di progetto.

Per analogia con interventi simili realizzati nella città di Genova, si utilizzano i seguenti parametri:

$$\varnothing = 28^\circ$$

$$\gamma = 1900 \text{ daN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	7 di 36

## 5. AZIONI SOLLECITANTI

Con riferimento all'allegato 1 denominato "Riepilogo pali e relativi tiri" della relazione E21D 00 D Z2 CL LC0000 002 B "Relazione di calcolo pali trazione elettrica" si riportano le massime azioni di tiro agenti sui quattro tipi di pali T.E. considerati.

### 5.1 Sollecitazioni palo tipo M28

**CALCOLO CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DI RESISTENZA DEI PROFILI TUBOLARI (EN 10210-2-EN 10219)**

Diametro (D)	Spessore (T)	Massa lineica (M)	Area (A)	Momento d'inerzia (I)	Raggio d'inerzia (R)	Modulo di resistenza elastico (W)	Modulo di resistenza plastico (S)	Momento d'inerzia torsionale (J)	Costante di torsione (C)	Superficie esterna (A <sub>s</sub> )
(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> /m)
219,1	7,1	37,1	47,3	2660	7,50	243	319	5319	486	0,688

Lunghezza 920 cm / Lunghezza fuori terra 820 cm / Incastro 100 cm

PALO				P0021
Tipo di Palo				M28
Altezza palo fuori terra				8,20
Azione vento sul palo				48,00
T1 - Tiro equivalente Direzione				693,65
Altri tiri su palo	Tiro	Angolo		Risultante
T2				-
T3				-
T4				-
<b>Tiro complessivo su piano di rif. A-A amplificato secondo CEI 50119 (1,3) [daN]</b>				<b>741,65</b>
Angolo del vettore Risultante rispetto alla direzione di calcolo				0,0°
<b>Momento incastro amplificato secondo norma NTC (1,5) [daNm]</b>				<b>6.931,55</b>

### 5.2 Sollecitazioni palo tipo M29a

**CALCOLO CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DI RESISTENZA DEI PROFILI TUBOLARI (EN 10210-2-EN 10219)**

Diametro (D)	Spessore (T)	Massa lineica (M)	Area (A)	Momento d'inerzia (I)	Raggio d'inerzia (R)	Modulo di resistenza elastico (W)	Modulo di resistenza plastico (S)	Momento d'inerzia torsionale (J)	Costante di torsione (C)	Superficie esterna (A <sub>s</sub> )
(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> /m)
273	6,3	41,4	52,8	4696	9,43	344	448	9392	688	0,858

Lunghezza 940 cm / Lunghezza fuori terra 820 cm / Incastro 120 cm

PALO				P0089
Tipo di Palo				M29a
Altezza palo fuori terra				8,20
Azione vento sul palo				62,00
T1 - Tiro equivalente Direzione				952,48
Altri tiri su palo	Tiro	Angolo		Risultante
T2				-
T3				-
T4				-
<b>Tiro complessivo su piano di rif. A-A amplificato secondo CEI 50119 (1,3) [daN]</b>				<b>1.014,48</b>
Angolo del vettore Risultante rispetto alla direzione di calcolo				0,0°
<b>Momento incastro amplificato secondo norma NTC (1,5) [daNm]</b>				<b>9.481,50</b>



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>9 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	9 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	9 di 36								

## 5.5 Azione del vento

Zona di ubicazione dell'edificio: 7 – Liguria

Classe di rugosità del terreno: B - Area urbana (non di classe A), suburbana, industriale o boschiva (tab. 3.3.III)

Categoria di esposizione del sito: IV

Parametri derivati (tab. 3.3.I):

$V_{b,0}$  (velocità base di riferimento al livello del mare): 28 m/s

$a_0$ : 1000 m

$K_s$ : 0.54

Parametri derivati (tab. 3.3.II):

$K_r$ : 0.22

$z_0$ : 0.30 m

$z_{min}$ : 8.00 m

$a_s$  (altitudine sul livello del mare): 19.00 m

$T_r$  (tempo di ritorno): 50 anni

$V_b$  (velocità base di riferimento [3.3.1]): 28 m/s

$c_a$  (coefficiente di altitudine [3.3.1.b]): 1.00

$V_r$  (velocità di riferimento [3.3.2]): 28 m/s

$c_r$  (coefficiente di ritorno [3.3.3]): 1.00

$c_t$  (coefficiente topografico): 1.00

$q_r$  (pressione cinetica di riferimento): 49.00 daN/m<sup>2</sup>

$c_e$  (coefficiente di esposizione): 1.63

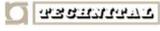
$c_d$  (coefficiente dinamico): 1.00

$h$  (altezza dell'edificio): 1.00 m

$b$  (diametro): 0.20 m

$Re$  (Numero di Reynolds): 5.010E+05

$a_m$ : 85.00



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	10 di 36

$a_b$ : 135.00

Coefficiente di pressione  $C_{pe}$ :

$C_{p0}$ : 1.00

$C_{pm}$ : -2.20

$C_{pb}$ : -0.40

Pressioni esterne:

$C_{p0}$ : 80.08 daN/m<sup>2</sup>

$C_{pm}$ : -176.17 daN/m<sup>2</sup>

$C_{pb}$ : -32.03 daN/m<sup>2</sup>

Criteri di valutazione del  $C_{pi}$  (C3.3.8.5) riferiti a edifici aventi: Area con distribuzione uniforme di aperture

Coefficiente di pressione  $C_{pi}$ :

positivo: 0.20

negativo: -0.30

Pressioni massimizzate:

$C_{p0}$ : 104.10 daN/m<sup>2</sup>

$C_{pm}$ : -192.18 daN/m<sup>2</sup>

$C_{pb}$ : -48.05 daN/m<sup>2</sup>

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>11 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	11 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	11 di 36								

## 6. COMBINAZIONI DI CARICO

### 6.1 Criteri generali di verifica

In accordo al paragrafo 6.4.2.1. i plinti sono verificati per i seguenti stati limite ultimi:

#### SLU di tipo GEOTECNICO

1. Verifica della capacità portante secondo approccio 2 (A1+M1+R3)
2. Verifica a scorrimento secondo approccio 2 (A1+M1+R3)
3. Stabilità globale secondo Approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2)

#### SLU di tipo STRUTTURALE

1. Verifiche di resistenza secondo approccio 2 (A1+M1+R3)

#### Verifica della capacità portante

La verifica di capacità portante è effettuata secondo la formula di Brinch-Hansen che nella sua forma generalizzata si presenta come segue

$$\begin{aligned}
 Q_{lim} = & 1/2 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + \\
 & + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \\
 & + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c
 \end{aligned}$$

Con:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2(\pi/4 + \phi/2) \text{ Fattore di capacità portante dovuto a coesione}$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \cdot \tan \phi' \quad \text{Fattore di capacità portante dovuto a peso del terreno}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi' \quad \text{Fattore di capacità portante dovuto a sovraccarico}$$

$$s_c, s_q, s_{\gamma} \quad \text{Fattori di forma}$$

$$d_c, d_q, d_{\gamma} \quad \text{Fattori di profondità}$$

$$i_c, i_q, i_{\gamma} \quad \text{Fattori di inclinazione del carico}$$

$$b_c, b_q, b_{\gamma} \quad \text{Fattori di inclinazione della base}$$

$$g_c, g_q, g_{\gamma} \quad \text{Fattori di inclinazione del piano campagna}$$

#### Verifiche allo stato limite di scorrimento sul piano di posa

Sono incrementate le azioni (A1), invariati i parametri geotecnici (M1) e ridotta la resistenza (R3).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>12 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	12 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	12 di 36								

### Verifica allo stato limite di equilibrio come corpo rigido (Ribaltamento) EQU

Nella verifica al ribaltamento le azioni verticali sono favorevoli e le azioni orizzontali sfavorevoli.

L'Azione di progetto viene incrementata di un fattore  $\gamma_q = 1,5$  (tabella 6.2.I colonna A1) Il coefficiente di attrito di progetto è:  $\tan\delta_d = \tan\delta_k/\gamma_{\phi'}$  con  $\gamma_{\phi'} = 1$  (da tabella 6.2.II colonna M1).

Come descritto al capitolo 4 della presente relazione i parametri geotecnici dell'unità stratigrafica interessata dalla realizzazione dei plinti sono i seguenti:

$$\emptyset = 28^\circ$$

$$\gamma = 1900 \text{ daN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

#### Fattori di capacità portante

$$N_q = e^{\pi \tan\emptyset} \cdot \text{tg}^2(\pi/4 + \emptyset'/2) = 14,71$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}\emptyset' = 16,7$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{cotg}\emptyset' = 25,78$$

#### Fattori di forma (per fondazione a pianta di forma quadrata)

$$s_c = 1 + N_q / N_c = 1 + 14,71 / 25,78 = 1,57$$

$$s_q = 1 + \text{tg}\emptyset = 1,53$$

$$s_\gamma = 0,6$$

#### Fattori di profondità

A favore di sicurezza si decide di non considerare il contributo dei fattori di profondità.

#### Fattori di inclinazione

I fattori di inclinazione della base e di inclinazione del piano campagna sono da considerare unitari in quanto i plinti poggiano su piani orizzontali.

Il carico assiale sollecitante derivante dal palo non è inclinato

#### Eccentricità del carico

Per via della presenza del tiro di lavoro dei cavi, in corrispondenza dell'incastro del palo nel plinto si produce un momento flettente che genera un'eccentricità  $e$  del carico assiale.

Per ricentrare il carico assiale e determinare la sezione del plinto effettivamente reagente la dimensione del plinto nella direzione dell'eccentricità viene ridotta della quantità  $2e$ .

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>13 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	13 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	13 di 36								

$$L' = L - 2e$$

Pertanto la formula di Brinch Hansen è riconducibile a:

$$Q_{lim} = 1/2 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} + \gamma \cdot D \cdot N_{q} \cdot s_{q} + c \cdot N_c \cdot s_c$$

## 7. VERIFICHE

### 7.1 Plinto M28 – 1,80 x 1,80 x 1,50 m

#### Verifica capacità portante

Il peso del palo infisso è pari a:

$$P_{palo} = 37,1 \text{ daN/m} \cdot 9,20 \text{ m} = 341 \text{ daN}$$

Il peso del plinto nel quale il palo è infisso è pari a:

$$P_{plinto} = 1,8 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 12150 \text{ daN}$$

$$N_{ed} = 1,3 \cdot (12150 \text{ daN} + 341 \text{ daN}) = 16238 \text{ daN} = 162 \text{ kN}$$

Come da fogli di calcoli allegati alla relazione E21D 00 D Z2 CL LC0000 002 B, il momento all'incastro del palo dovuto al tiro massimo già comprensivo del fattore di amplificazione di 1,5 è pari a  $M_{ed} = 6931 \text{ daNm}$ .

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento. Pertanto:

$$M_{rib} = 6931,55 \text{ daNm} + 855,75 \text{ daN} \cdot 1,5 \text{ m} + 123 \text{ daN} \cdot (8,2/2 + 1,5) \text{ m} = 8904 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 8903,98 \text{ daNm} / (12150 \text{ daN} + 341 \text{ daN}) = 0,71 \text{ m}$

$$L' = L - 2 \cdot e = 1,8 \text{ m} - 2 \cdot 0,71 \text{ m} = 0,38 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{lim} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 16,7 \cdot 0,6 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 14,71 \cdot 1,53) \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = (3617 \text{ daN/m}^2 + 64142 \text{ daN/m}^2) \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = 68140 \text{ daN} \cdot 0,42 \cdot 1,8 = 46348 \text{ daN} = 464 \text{ kN}$$

$$Q_{lim} / 2,3 = 202 \text{ kN}$$

$$Q_{lim} / N_{ed} = 202 \text{ kN} / 162 \text{ kN} = 1,24 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>14 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	14 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	14 di 36								

### Verifica a scorrimento

L'azione che induce scorrimento del plinto è data dalla combinazione della pressione del vento distribuita linearmente sul palo a cui si somma il tiro massimo di lavoro del cavo. Pertanto:

$$P_{\text{vento}} = 1,5 \cdot 45 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,219 \text{ m} \cdot 8,20 \text{ m} = 123 \text{ daN}$$

$$T_{\text{cavo}} = 855,75 \text{ daN}$$

$$S_{\text{ed}} = P_{\text{vento}} + T_{\text{cavo}} = 978,75 \text{ daN}$$

$$R_d = 1/\gamma_R \cdot [(c'_k / \gamma_c) \cdot B \cdot L' + N_{\text{ed}} \cdot \tan \phi_k / \gamma_k]$$

Trascurando il contributo coesivo la resistenza risulta:

$$R_d = 1/1,1 \cdot (12150 / 1,3 \text{ daN} \cdot \tan 28^\circ) = 4517 \text{ daN}$$

$$S_{\text{rd}} / S_{\text{ed}} = 4517 \text{ daN} / 978,75 \text{ daN} = 4,61 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica a ribaltamento

Il momento ribaltante è pari a:

$$M_{\text{rib}} = 8904 \text{ daNm}$$

Il momento stabilizzante risulta:

$$M_{\text{stab}} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 0,90 \text{ m} = 9841 \text{ daNm}$$

Pertanto:

$$M_{\text{stab}} / M_{\text{rib}} = 9841 \text{ daNm} / 8904 \text{ daNm} = 1,1 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica armatura a flessione

I momenti sollecitanti del plinto sono i seguenti:

$$M_{\text{ed terreno}} = 0,50 \text{ daN/cm}^2 \cdot 90 \text{ cm} \cdot 180 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm} = 364500 \text{ daNcm} = 3645 \text{ daNm}$$

$$M_{\text{ed palo}} = 8904 \text{ daNm}$$

$$M_{\text{ed plinto}} = 1,3 \cdot (1,8 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 1,5 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3) \cdot 0,45 \text{ m} = 3554 \text{ daNm}$$

Il momento sollecitante complessivo è:

$$M_{\text{ed,tot}} = 8904 \text{ daNm} + 3554 \text{ daNm} - 3645 \text{ daNm} = 8813 \text{ daNm}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>15 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	15 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	15 di 36								

Il plinto è armato con  $\varnothing 12/20$  cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

L'area dei ferri  $\varnothing 12/20$  cm è pari a  $904 \text{ mm}^2$

Il momento resistente offerto dall'armatura tesa risulta quindi:

$$M_{rd} = 904 \text{ mm}^2 \cdot 391,3 \text{ MPa} \cdot 0,9 \cdot 1454 \text{ mm} = 462897882 \text{ Nmm} = 46289 \text{ daNm}$$

Pertanto:

$$M_{rd} / M_{ed} = 46289 \text{ daNm} / 8813 \text{ daNm} \rightarrow 5,25 \text{ VERIFICATO}$$

#### Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

Il perimetro critico per aree circolari caricate lontane da bordi liberi è definito come il perimetro che circonda l'area caricata posto ad una distanza pari a  $1,5 d$ .

Siccome  $1,5 \cdot 1,454 \text{ m} = 2,18 \text{ m}$  pone il perimetro critico esternamente al perimetro del plinto, si riporta la verifica eseguita sul perimetro del palo.

La tensione sollecitante risulta essere:

$$v_{ed} = 1,15 \cdot [162380 \text{ N} / (688 \text{ mm} \cdot 1454 \text{ mm})] = 0,186 \text{ MPa}$$

Tale valore deve essere inferiore al massimo tra i seguenti valori resistenti:

$$v_{rd,c1} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,169 \text{ MPa}$$

$$v_{rd,c2} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,296 \text{ MPa}$$

con:

$$\rho = 0,00039 \leq 0,02$$

$$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1,37 \leq 2$$

$$C_{rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

Pertanto risulta che:

$$v_{ed} = 0,186 \text{ MPa} < 0,296 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>16 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	16 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	16 di 36								

## 7.2 Plinto M29a – 2 m x 2 m x 1,8 m

### Verifica capacità portante

Il peso del palo infisso è pari a:

$$P_{\text{palo}} = 41,4 \text{ daN/m} \cdot 9,40 \text{ m} = 389 \text{ daN}$$

Il peso del plinto nel quale il palo è infisso è pari a:

$$P_{\text{plinto}} = 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 18000 \text{ daN}$$

$$N_{\text{ed}} = 1,3 \cdot (18000 \text{ daN} + 389 \text{ daN}) = 23905,7 \text{ daN} = 239,05 \text{ kN}$$

Come da fogli di calcoli allegati alla relazione E21D 00 D Z2 CL LC0000 002 B, il momento all'incastro del palo dovuto al tiro massimo già comprensivo del fattore di amplificazione di 1,5 è pari a  $M_{\text{ed}} = 9481,5 \text{ daNm}$ .

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento. Pertanto:

$$M_{\text{rib}} = 9481,5 \text{ daNm} + 1170,21 \text{ daN} \cdot 1,8 \text{ m} + 151 \text{ daN} \cdot (8,2/2 + 1,8) \text{ m} = 12478,78 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 12478,78 \text{ daNm} / (18000 \text{ daN} + 389 \text{ daN}) = 0,68 \text{ m}$

$$L' = L - 2 \cdot e = 1,8 \text{ m} - 2 \cdot 0,67 \text{ m} = 0,44 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{\text{lim}} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,44 \text{ m} \cdot 16,7 \cdot 0,6 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 14,71 \cdot 1,53) \cdot 0,44 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = (4188,36 \text{ daN/m}^2 + 76971 \text{ daN/m}^2) \cdot 0,44 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = 81159,9 \text{ daN} \cdot 0,44 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = 64278,65 \text{ daN} = 642,78 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{lim}} / 2,3 = 279,47 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{lim}} / N_{\text{ed}} = 279,47 \text{ kN} / 239,05 \text{ kN} = 1,16 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica a scorrimento

L'azione che induce scorrimento del plinto è data dalla combinazione della pressione del vento distribuita linearmente sul palo a cui si somma il tiro massimo di lavoro del cavo. Pertanto:

$$P_{\text{vento}} = 1,5 \cdot 45 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,273 \text{ m} \cdot 8,20 \text{ m} = 151 \text{ daN}$$

$$T_{\text{cavo}} = 1170,21 \text{ daN}$$

$$S_{\text{ed}} = P_{\text{vento}} + T_{\text{cavo}} = 1321 \text{ daN}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>17 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	17 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	17 di 36								

$$R_d = 1/\gamma_R \cdot [(C'_k / \gamma_C) \cdot B \cdot L' + N_{ed} \cdot \tan \phi_k / \gamma_k]$$

Trascurando il contributo coesivo la resistenza risulta:

$$R_d = 1/1,1 \cdot (18389 / 1,3 \text{ daN} \cdot \tan 28^\circ) = 5837 \text{ daN}$$

$$S_{rd} / S_{ed} = 5837 \text{ daN} / 1321 \text{ daN} = 4,41 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica a ribaltamento

Momento ribaltante

$$M_{rib} = 12478,78 \text{ daNm}$$

Momento stabilizzante

$$M_{stab} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 16200 \text{ daNm}$$

$$M_{stab} / M_{rib} = 16200 \text{ daNm} / 12478,78 \text{ daNm} = 1,29 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica armatura a flessione

I momenti sollecitanti del plinto sono i seguenti:

$$M_{ed, \text{ terreno}} = 0,60 \text{ daN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 180 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} = 540000 \text{ daNcm} = 5400 \text{ daNm}$$

$$M_{ed, \text{ palo}} = 12478,78 \text{ daNm}$$

$$M_{ed, \text{ plinto}} = 1,3 \cdot (2 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} = 5850 \text{ daNm}$$

Il momento sollecitante complessivo è:

$$M_{ed, \text{ tot}} = 12478,78 \text{ daNm} + 5850 \text{ daNm} - 5400 \text{ daNm} = 12928,78 \text{ daNm}$$

Il plinto è armato con  $\varnothing 12/20$  cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

L'area dei ferri  $\varnothing 12/20$  cm è pari a  $904 \text{ mm}^2$ .

Il momento resistente offerto dall'armatura tesa risulta quindi:

$$M_{rd} = 904 \text{ mm}^2 \cdot 391,3 \text{ MPa} \cdot 0,9 \cdot 1754 \text{ mm} = 558406487 \text{ Nmm} = 55840 \text{ daNm}$$

Pertanto:

$$M_{rd} / M_{ed} = 55840 \text{ daNm} / 12928,78 \text{ daNm} = 4,31 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

Il perimetro critico per aree circolari caricate lontane da bordi liberi è definito come il perimetro che circonda l'area caricata posto ad una distanza pari a  $1,5 d$ .

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>18 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	18 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	18 di 36								

Siccome  $1,5 \cdot 1,754 \text{ m} = 2,63 \text{ m}$  pone il perimetro critico esternamente al perimetro del plinto, si riporta la verifica eseguita sul perimetro del palo.

La tensione sollecitante risulta essere:

$$ved = 1,15 \cdot [183890 \text{ N} / (957 \text{ mm} \cdot 1754 \text{ mm})] = 0,126 \text{ MPa}$$

Tale valore deve essere inferiore al massimo tra i seguenti valori resistenti:

$$V_{rd,c1} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,153 \text{ MPa}$$

$$V_{rd,c2} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,284 \text{ MPa}$$

con:

$$\rho = 0,00032 \leq 0,02$$

$$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1,33 \leq 2$$

$$C_{rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

Pertanto risulta che:

$$V_{ed} = 0,126 \text{ MPa} < 0,284 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 7.3 Plinto M30a – 2,20 m x 2,20 m x 2,40 m

#### Verifica capacità portante

Il peso del palo infisso è pari a:

$$P_{\text{palo}} = 71,7 \text{ daN/m} \cdot 9,50 \text{ m} = 681 \text{ daN}$$

Il peso del plinto nel quale il palo è infisso è pari a:

$$P_{\text{plinto}} = 2,2 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 29040 \text{ daN}$$

$$N_{ed} = 1,3 \cdot (29040 \text{ daN} + 681 \text{ daN}) = 38637 \text{ daN} = 386 \text{ kN}$$

Come da fogli di calcoli allegati alla relazione E21D 00 D Z2 CL LC0000 002 B, il momento all'incastro del palo dovuto al tiro massimo già comprensivo del fattore di amplificazione di 1,5 è pari a  $M_{ed} = 15398,28 \text{ daNm}$

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento. Pertanto:

$$M_{rib} = 15398,28 \text{ daNm} + 2212 \text{ daN} \cdot 2,4 \text{ m} + 151 \text{ daN} \cdot (8,2/2 + 2,4) \text{ m} = 21689 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 21689 \text{ daNm} / (29040 \text{ daN} + 681 \text{ daN}) = 0,73 \text{ m}$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>19 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	19 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	19 di 36								

$$L' = L - 2 \cdot e = 2,2 \text{ m} - 2 \cdot 0,73 \text{ m} = 0,74 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{lim} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,74 \text{ m} \cdot 16,7 \cdot 0,6 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 14,71 \cdot 1,53) \cdot 0,74 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} = (7044 \text{ daN/m}^2 + 102629 \text{ daN/m}^2) \cdot 0,74 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} = 109673 \text{ daN} \cdot 0,74 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} = 178547,3 \text{ daN} = 1785 \text{ kN}$$

$$Q_{lim} / 2,3 = 776,29 \text{ kN}$$

$$Q_{lim} / N_{ed} = 776,29 \text{ kN} / 386 \text{ kN} = 2,01 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### Verifica a scorrimento

L'azione che induce scorrimento del plinto è data dalla combinazione della pressione del vento distribuita linearmente sul palo a cui si somma il tiro massimo di lavoro del cavo. Pertanto:

$$P_{vento} = 1,5 \cdot 45 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,273 \text{ m} \cdot 8,20 \text{ m} = 151 \text{ daN}$$

$$T_{cavo} = 2212 \text{ daN}$$

$$S_{ed} = P_{vento} + T_{cavo} = 2363 \text{ daN}$$

La resistenza allo scorrimento è data dalla seguente espressione:

$$R_d = 1/\gamma_R \cdot [(C'_{\gamma k} / \gamma_C) \cdot B \cdot L' + N_{ed} \cdot \tan \varnothing_k / \gamma_k]$$

Trascurando il contributo coesivo la resistenza risulta:

$$R_d = 1/1,1 \cdot (29040/1,3 \text{ daN} \cdot \tan 28^\circ) = 10798 \text{ daN}$$

$$S_{rd} / S_{ed} = 10798 \text{ daN} / 2363 \text{ daN} = 4,56 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### Verifica a ribaltamento

Momento ribaltante:

$$M_{rib} = 21689 \text{ daNm}$$

Momento stabilizzante:

$$M_{stab} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m} = 28750 \text{ daNm}$$

$$M_{stab} / M_{rib} = 28750 \text{ daNm} / 21689 \text{ daNm} = 1,32 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### Verifica armatura a flessione

I momenti sollecitanti del plinto sono i seguenti:

$$M_{ed \text{ terreno}} = 0,79 \text{ daN/cm}^2 \cdot 110 \text{ cm} \cdot 220 \text{ cm} \cdot 55 \text{ cm} = 1051490 \text{ daNcm} = 10514 \text{ daNm}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>20 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	20 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	20 di 36								

Med palo = 21689 daNm

Med plinto =  $1,3 \cdot (2,2 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3) \cdot 0,55 \text{ m} = 10381 \text{ daNm}$

Il momento sollecitante complessivo è:

Med,tot = 21689 daNm + 10381 daNm – 10514 daNm = 21556 daNm

Il plinto è armato con Ø12/20 cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

L'area dei ferri Ø12/20 cm è pari a 1017 mm<sup>2</sup>.

Il momento resistente offerto dall'armatura tesa risulta quindi:

Mrd = 1017 mm<sup>2</sup> · 391,3 MPa · 0,9 · 2354 mm = 843101319 Nmm = 84310 daNm

Pertanto:

Mrd / Med = 84310 daNm / 21556 daNm = 3,91 → VERIFICATO

#### Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

Il perimetro critico per aree circolari caricate lontane da bordi liberi è definito come il perimetro che circonda l'area caricata posto ad una distanza pari a 1,5 d.

Siccome  $1,5 \cdot 2,354 \text{ m} = 3,53 \text{ m}$  pone il perimetro critico esternamente al perimetro del plinto, si riporta la verifica eseguita sul perimetro del palo.

La tensione sollecitante risulta essere:

$V_{ed} = 1,15 \cdot [386370 \text{ N} / (857 \text{ mm} \cdot 2354 \text{ mm})] = 0,218 \text{ MPa}$

Tale valore deve essere inferiore al massimo tra i seguenti valori resistenti:

$V_{rd,c1} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,143 \text{ MPa}$

$V_{rd,c2} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,277 \text{ MPa}$

con:

$\rho = 0,00027 \leq 0,02$

$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1,31 \leq 2$

$C_{rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$

Pertanto risulta che:

$V_{ed} = 0,218 \text{ MPa} < 0,277 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>21 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	21 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	21 di 36								

#### 7.4 Plinto M32a – 2,60 m x 2,60 m x 2,40 m

##### Verifica capacità portante

Il peso del palo infisso è pari a:

$$P_{\text{palo}} = 105,8 \text{ daN/m} \cdot 9,65 \text{ m} = 1021 \text{ daN}$$

Il peso del plinto nel quale il palo è infisso è pari a:

$$P_{\text{plinto}} = 2,6 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 40560 \text{ daN}$$

$$N_{\text{ed}} = 1,3 \cdot (40560 \text{ daN} + 1021 \text{ daN}) = 54055 \text{ daN} = 540 \text{ kN}$$

Come da fogli di calcoli allegati alla relazione E21D 00 D Z2 CL LC0000 002 B, il momento all'incastro del palo dovuto al tiro massimo già comprensivo del fattore di amplificazione di 1,5 è pari a  $M_{\text{ed}} = 30320,68 \text{ daNm}$

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento.

Pertanto:

$$M_{\text{rib}} = 30320,68 \text{ daNm} + 3743,3 \text{ daN} \cdot 2,4 \text{ m} + 196 \text{ daN} \cdot (8,2/2+2,4) \text{ m} = 40579 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 40579 \text{ daNm} / (40560 \text{ daN} + 1021 \text{ daN}) = 0,97 \text{ m}$

$$L' = L - 2 \cdot e = 2,6 \text{ m} - 2 \cdot 0,97 \text{ m} = 0,64 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{\text{lim}} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,64 \text{ m} \cdot 16,7 \cdot 0,6 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 14,71 \cdot 1,53) \cdot 0,64 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} = (6092,16 \text{ daN/m}^2 + 102628,7 \text{ daN/m}^2) \cdot 0,64 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} = 108721 \text{ daN} \cdot 0,64 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} = 180911 \text{ daN} = 1809 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{lim}} / 2,3 = 786 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{lim}} / N_{\text{ed}} = 786 \text{ kN} / 540 \text{ kN} = 1,45 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

##### Verifica a scorrimento

L'azione che induce scorrimento del plinto è data dalla combinazione della pressione del vento distribuita linearmente sul palo a cui si somma il tiro massimo di lavoro del cavo. Pertanto:

$$P_{\text{vento}} = 1,5 \cdot 45 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,355 \text{ m} \cdot 8,20 \text{ m} = 196 \text{ daN}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>22 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	22 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	22 di 36								

$$T_{cavo} = 3743,3 \text{ daN}$$

$$Sed = P_{vento} + T_{cavo} = 3939,3 \text{ daN}$$

La resistenza allo scorrimento è data dalla seguente espressione:

$$R_d = 1/\gamma_R \cdot [(C'_k / \gamma_C) \cdot B \cdot L' + N_{ed} \cdot \tan \phi_k / \gamma_k]$$

Trascurando il contributo coesivo la resistenza risulta:

$$R_d = 1/1,1 \cdot (54055/1,3 \text{ daN} \cdot \tan 28^\circ) = 20098 \text{ daN} = 201 \text{ kN}$$

$$Srd / Sed = 20098 \text{ daN} / 3939,3 \text{ daN} = 5,1 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica a ribaltamento

Momento ribaltante

$$M_{rib} = 40579 \text{ daNm}$$

Momento stabilizzante

$$M_{stab} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m} = 47455 \text{ daNm}$$

$$M_{stab} / M_{rib} = 47455 \text{ daNm} / 40579 \text{ daNm} = 1,17 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### Verifica armatura a flessione

I momenti sollecitanti del plinto sono i seguenti:

$$Med_{\text{terreno}} = 0,80 \text{ daN/cm}^2 \cdot 130 \text{ cm} \cdot 260 \text{ cm} \cdot 57,5 \text{ cm} = 1554800 \text{ daNcm} = 15548 \text{ daNm}$$

$$Med_{\text{palo}} = 40579 \text{ daNm}$$

$$Med_{\text{plinto}} = 1,3 \cdot (2,6 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3) \cdot 0,575 \text{ m} = 15159 \text{ daNm}$$

Il momento sollecitante complessivo è:

$$Med_{\text{tot}} = 40579 \text{ daNm} + 15159 \text{ daNm} - 15548 \text{ daNm} = 40190 \text{ daNm}$$

Il plinto è armato con  $\varnothing 12/20$  cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

L'area dei ferri  $\varnothing 12/20$  cm è pari a  $1356 \text{ mm}^2$ .

Il momento resistente offerto dall'armatura tesa risulta quindi:

$$M_{rd} = 1356 \text{ mm}^2 \cdot 391,3 \text{ MPa} \cdot 0,9 \cdot 2354 \text{ mm} = 1124135092 \text{ Nmm} = 112413 \text{ daNm}$$

Pertanto:

$$M_{rd} / Med = 112413 / 40190 = 2,79 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>23 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	23 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	23 di 36								

Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

Il perimetro critico per aree circolari caricate lontane da bordi liberi è definito come il perimetro che circonda l'area caricata posto ad una distanza pari a 1,5 d.

Siccome  $1,5 \cdot 2,354 \text{ m} = 3,53 \text{ m}$  pone il perimetro critico esternamente al perimetro del plinto, si riporta la verifica eseguita sul perimetro del palo.

La tensione sollecitante risulta essere:

$$v_{ed} = 1,15 \cdot [425890 \text{ N} / (11116 \text{ mm} \cdot 2354 \text{ mm})] = 0,186 \text{ MPa}$$

Tale valore deve essere inferiore al massimo tra i seguenti valori resistenti:

$$v_{rd,c1} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,135 \text{ MPa}$$

$$v_{rd,c2} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,271 \text{ MPa}$$

con:

$$\rho = 0,00024 \leq 0,02$$

$$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1,29 \leq 2$$

$$C_{rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

Pertanto risulta che:

$$v_{ed} = 0,186 \text{ MPa} < 0,271 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

## 8. STAFFAGGIO A STRUTTURE ESISTENTI

Assunte le tipologie di palo indicati al capitolo 5 si procede alla verifica del fissaggio del collare di staffaggio dei pali al supporto esistente in calcestruzzo armato.

### 8.1 Verifica ancoraggi M28

Due anelli di staffaggio fissati ciascuno con 2 tasselli M24 classe 8.8 lunghezza  $l=210$  mm per un totale di 4 tasselli. I tasselli sono ancorati chimicamente con Resina HIT-RE 500 V3. L'interasse tra i due anelli di staffaggio è di 50 cm.

#### 3 Carico di trazione (EN 1992-4, Sezione 7.2.1)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo $\beta_N$ [%]	Stato
Rottura dell'acciaio*	77.316	188.267	42	OK
Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento**	154.632	323.818	48	OK
Rottura conica del calcestruzzo**	154.632	223.167	70	OK
Fessurazione**	N/A	N/A	N/A	N/A

\*ancorante più sollecitato \*\*gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

#### 3.1 Rottura dell'acciaio

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
282.400	1.500	188.267	77.316

#### 3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

$A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{Rk,uor,20}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$S_{or,Np}$ [mm]	$C_{cr,Np}$ [mm]	$c_{min}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
793 800	396 900	15.00	630	315	$\infty$	25.00
$\psi_c$	$\tau_{Rk,uor}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_3$	$\tau_{Rk,e}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1.023	15.34	11.000	10.57	1.000	1.000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
$\psi_{sus}^0$	$\alpha_{sus}$	$\psi_{sus}$				
0.880	0.000	1.000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]		
242.864	485.727	1.500	323.818	154.632		

#### 3.3 Rottura conica del calcestruzzo

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$C_{cr,N}$ [mm]	$S_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
793 800	396 900	315	630	25.00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
$z$ [mm]	$\psi_{M,N}$	$k_1$	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
525	1.000	11.000	167.375	1.500	223.167	154.632

## 8.2 Verifica ancoraggi M29a

Due anelli di staffaggio fissati ciascuno con 2 tasselli M24 classe 8.8 lunghezza  $l=210$  mm per un totale di 4 tasselli. I tasselli sono ancorati chimicamente con Resina HIT-RE 500 V3. L'interasse tra i due anelli di staffaggio è di 50 cm.

### 3 Carico di trazione (EN 1992-4, Sezione 7.2.1)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo $\beta_n$ [%]	Stato
Rottura dell'acciaio*	87.120	188.267	47	OK
Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento**	174.240	323.818	54	OK
Rottura conica del calcestruzzo**	174.240	223.167	79	OK
Fessurazione**	N/A	N/A	N/A	N/A

\*ancorante più sollecitato \*\*gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

#### 3.1 Rottura dell'acciaio

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
282.400	1.500	188.267	87.120

#### 3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

$A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	$c_{min}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
793 800	396 900	15.00	630	315	$\infty$	25.00
$\psi_c$	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_3$	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1.023	15.34	11.000	10.57	1.000	1.000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
$\psi_{sus}^0$	$\alpha_{sus}$	$\psi_{sus}$				
0.880	0.000	1.000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]		
242.864	485.727	1.500	323.818	174.240		

#### 3.3 Rottura conica del calcestruzzo

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
793 800	396 900	315	630	25.00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
$z$ [mm]	$\psi_{M,N}$	$k_1$	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
525	1.000	11.000	167.375	1.500	223.167	174.240

**RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	26 di 36

### 8.3 Verifica ancoraggi M30a

Tre anelli di staffaggio fissati ciascuno con 2 tasselli M30 classe 8.8 lunghezza  $l=380$  mm per un totale di 6 tasselli. I tasselli sono ancorati chimicamente con Resina HIT-RE 500 V3 L'interasse tra gli anelli di staffaggio è di 45 cm.

#### 3 Carico di trazione (EN 1992-4, Sezione 7.2.1)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo $\beta_H$ [%]	Stato
Rottura dell'acciaio*	83.998	299.200	29	OK
Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento**	242.100	532.540	46	OK
Rottura conica del calcestruzzo**	242.100	349.665	70	OK
Fessurazione**	N/A	N/A	N/A	N/A

\*ancorante più sollecitato \*\*gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

##### 3.1 Rottura dell'acciaio

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
448.800	1.500	299.200	83.998

##### 3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

$A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	$c_{min}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 903 402	671 454	14.00	819	410	$\infty$	25.00
$\psi_c$	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_3$	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\psi_{q,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1.023	14.32	11.000	11.38	1.000	1.000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
87	0.824	0	1.000	1.000	1.000	
$\psi_{sus}^0$	$\alpha_{sus}$	$\psi_{sus}$				
0.880	0.000	1.000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]		
512.712	1 198.215	2.250	532.540	242.100		

##### 3.3 Rottura conica del calcestruzzo

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
2 893 800	1 299 600	570	1 140	25.00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
87	0.867	0	1.000	1.000	1.000	
$z$ [mm]	$\psi_{M,N}$	$k_1$	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]
764	1.000	11.000	407.416	2.250	349.665	242.100

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>27 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	27 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	27 di 36								

## 9. PLINTO PMV

Il peso del pannello PMV è di 15 daN

### 9.1 Azione del vento

L'azione sismica non viene considerata in quanto risulta secondaria rispetto all'azione dimensionante del vento.

La superficie esposta del vento è di  $0,28 \text{ m} \times 0,91 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$

La pressione massima esercitata sul pannello è  $90 \text{ daN/m}^2$

Altezza di installazione del PMV 3 m

### 9.2 Verifica del plinto

#### Verifica capacità portante

Il peso del plinto nel quale il palo è infisso è pari a:

$$P_{\text{plinto}} = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 1250 \text{ daN}$$

Il momento all'incastro del palo dovuto al tiro massimo vale  $M_{\text{ed}} = 115 \text{ daNm}$ . Tale valore è già comprensivo del fattore di amplificazione di 1,5.

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento. Pertanto:

$$M_{\text{rib}} = 115 \text{ daNm} + 65 \text{ daN} \cdot 0,5 \text{ m} = 147,5 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 147,5 \text{ daNm} / (1125 \text{ daN}) = 0,13 \text{ m}$

$$L' = L - 2 \cdot e = 1 \text{ m} - 2 \cdot 0,13 \text{ m} = 0,74 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{\text{lim}} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,42 \text{ m} \cdot 16,7 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 14,71) \cdot 0,74 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 15272 \text{ daN}$$

$$Q_{\text{lim}} / 2,3 = 6640 \text{ daN}$$

$$Q_{\text{lim}} / N_{\text{ed}} = 6640 \text{ daN} / 1250 \text{ daN} = 5,32 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### Verifica a ribaltamento

Momento ribaltante

$$M_{\text{rib}} = 147,5 \text{ daNm}$$

Momento stabilizzante

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>28 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	28 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	28 di 36								

$$M_{stab} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 562 \text{ daNm}$$

$$M_{stab} / M_{rib} = 562 \text{ daNm} / 147,5 \text{ daNm} = 3,81 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Verifica armatura a flessione

:Il plinto è armato con Ø10/20 cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

L'entità del carico è tale da non richiedere armatura di punzonamento

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>29 di 36</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	29 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	29 di 36								

## 10. PALO T.E. PLINTO SU PALO

Con riferimento all'elaborato E21D00DZ2BZLC0000004\_A il caso di plinto su palo richiede un palo trivellato in opera di dimensione  $\Phi 600$  mm profondità  $L = 11,2$  m armato con ferri.

Come azioni sollecitanti si assumono quelle della tipologia di palo più gravoso M32a di cui alla relazione E21D00DZ2CLLC0000002\_B.

Essendo il palo M32a vincolato su plinto su palo di fondazione, non è richiesta la verifica a ribaltamento del plinto ma si procede direttamente alla verifica del palo di fondazione in termini di verifica geotecnica e di resistenza.

La seguente tabella riassume schematicamente le verifiche eseguite. Per ciascuna verifica è indicato il confronto tra resistenza di calcolo  $R_d$  ed azione di calcolo  $S_d$ , ed il relativo coefficiente di sicurezza  $f_s$ .

C.Port. [daN][f.s.]	R.Tras. [daN][f.s.]
PM1-S1 18993/14913 = 1.27	PM1-S1 151580/3900 = 38.87

### Calcestruzzo palo di fondazione C25/30

$$f_{ck} = 24,9 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 14,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma^{(-)}_{cls, rara} = 14,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma^{(-)}_{cls, q.p.} = 11,21 \text{ MPa}$$

$$E = 31447 \text{ MPa}$$

### Acciaio armatura palo B450C

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 391,3 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{acc, rara} = 360 \text{ MPa}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>30 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	30 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	30 di 36								

## 10.1 Calcolo della capacità portante

Si riporta integralmente il calcolo di capacità portante per la situazione peggiore (coef. di sicurezza minore): Punto maglia PM1, Caso C1 (Stato limite ultimo).

## 10.2 Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati

### 10.2.1 Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata laterale.

Il calcolo della portata per attrito laterale viene effettuato col metodo **AGI**.

Le "Raccomandazioni sui pali di fondazione" pubblicate dall'AGI nel 1984 contengono le indicazioni per il calcolo della capacità portante di pali di fondazione in terreni sciolti e coesivi, per pali infissi e trivellati. Per terreni sciolti, l'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale  $k$ , dell'angolo di attrito palo-terreno  $\mu$  e della tensione verticale efficace  $\sigma'_v$ . Per terreni coesivi, il metodo si basa sulla resistenza al taglio non drenata  $s_u$ , o, in alternativa, sull'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e sulla tensione verticale efficace  $\sigma'_v$ . Viene inoltre valutata la profondità critica  $z_c$  oltre cui l'attrito rimane costante, secondo il diametro del palo. Questo metodo è applicabile a terreni non coesivi e coesivi, sia per pali infissi che per pali trivellati.

$$f_{s,lim} = \mu k \sigma'_v \text{ (terreno non coesivo)}$$

$$f_{s,lim} = \alpha s_u \text{ oppure } f_{s,lim} = (1 - \sin\phi') \tan\phi' \sigma'_v \text{ (terreno coesivo)}$$

### 10.2.2 Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per il modulo di reazione orizzontale.

Il calcolo del modulo di reazione orizzontale viene effettuato col metodo **Lineare**.

Il valore del modulo di reazione orizzontale varia linearmente con la quota, e viene calcolato come somma di un termine costante (A) più un coefficiente (B) moltiplicato per l'approfondimento (z) sotto il piano campagna.

### 10.2.3 Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.

Il calcolo della resistenza trasversale laterale viene effettuato col metodo **Broms**.

La teoria pubblicata da Broms nel 1964 propone due approcci differenti per terreni coesivi e non coesivi. Per terreni sciolti, propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine,  $p_i = 3K_p\sigma'_v$ . Per terreni coesivi, propone una distribuzione di  $p_i$  che vede un tratto nullo per i primi 1.5 diametri dalla superficie, seguito da un tratto con valore di resistenza pari a  $9s_u$  (resistenza al taglio non drenata) per profondità maggiori.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<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;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z2</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">LC0000 001</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">31 di 36</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	31 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	31 di 36								

$p_{lim} = 3 K_p \sigma'_{v0}$  (terreno non coesivo)

$p_{lim} = 9 s_u$  (terreno coesivo)

#### 10.2.4 M32a

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali per le azioni:  $\gamma_{G1,f}=1.00$ ,  $\gamma_{G1,s}=1.30$ ,  $\gamma_{G2,f}=0.80$ ,  $\gamma_{G2,s}=1.50$ ,  $\gamma_{Qi,f}=0.00$ ,  $\gamma_{Qi,s}=1.50$ .

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza, secondo il numero di verticali indagate:

n. vert.	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_{med}$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_{min}$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali alle portate calcolate, secondo il tipo di palo:

Tipo di palo	Infisso	Trivellato	A elica continua	Micropalo	Avvitato
$\gamma_b$	1.15	1.35	1.30	1.35	1.15
$\gamma_s$	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
$\gamma_{st}$	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

Alle sollecitazioni applicate viene aggiunto il peso proprio del palo, amplificato col coefficiente parziale  $\gamma_{G1,fav}=1.00$  o  $\gamma_{G1,sfa}=1.30$ , secondo il caso.

##### 10.2.4.1 Calcolo della portata laterale.

Il fusto del palo attraversa 1 strati.

##### Strato 1: Sabbia

Metodo **AGI** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1000 [cm] a quota -1300 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -1150 [cm].

La quota critica  $z_c$  vale -1600 [cm]. La quota di interesse (-1150 [cm]) è al di sopra della profondità critica. L'angolo di resistenza al taglio  $\phi'_{\kappa}$  vale 30. Il coefficiente di attrito  $\mu$  vale 0.577. Il coefficiente di spinta  $k$  vale 0.550. La tensione verticale efficace vale  $\sigma'_v = 2.07$  [daN/cm<sup>2</sup>]. L'attrito

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>32 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	32 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	32 di 36								

laterale calcolato vale 0.66 [daN/cm<sup>2</sup>].

La portata laterale calcolata vale 37131.58 [daN] (25992.11 [daN]). Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applicano  $\gamma_s=1.15$  e  $\gamma_{st}=1.25$ . Portate di calcolo:  $Q_{sc,d} = \mathbf{18993.14 [daN]}$  (s/D=**0.50%**).  $Q_{st,d} = \mathbf{12231.58 [daN]}$  (s/D=**0.50%**).

#### *Portata laterale totale*

La portata di calcolo  $Q_{sc,d}$  è **18993.14 [daN]**,  $Q_{st,d}$  è **12231.58 [daN]**.

#### *10.2.4.2 Portata totale (base + laterale)*

La portata di calcolo  $Q_{tc,d}$  è **18993.14 [daN]**,  $Q_{tt,d}$  è **12231.58 [daN]**.

#### *10.2.4.3 Calcolo del modulo di reazione orizzontale.*

Il fusto del palo attraversa 1 strati.

#### *Strato 1: Sabbia*

Metodo **Lineare** per il calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1000 [cm] a quota -1300 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -1150 [cm].

L'approfondimento vale 150 [cm]. Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 11.5 [daN/cm<sup>3</sup>].

Modulo di reazione orizzontale medio:  $k_{S0,med} = \mathbf{11.4 [daN/cm^3]}$ .

#### *10.2.4.4 Calcolo della resistenza trasversale laterale.*

Il fusto del palo attraversa 1 strati.

#### *Strato 1: Sabbia*

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1000 [cm] a quota -1300 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -1150 [cm].

L'angolo di resistenza al taglio  $\varphi'_k$  vale 30. La tensione verticale efficace vale  $\sigma'_v = 2.07 [daN/cm^2]$ . La pressione limite laterale calcolata vale 18.61 [daN/cm<sup>2</sup>].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 334991.7 [daN]. Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applica

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<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;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z2</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">LC0000 001</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">33 di 36</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	33 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	33 di 36								

$\gamma_{tr}=1.30$ . Resistenza trasversale di calcolo:  $R_{tr,d} = 151579.95 [daN]$ .

### Resistenza laterale totale

Per palo in grado di traslare rigidamente (meccanismo di palo "corto", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo  $R_{tr,d}$  è **151579.95 [daN]**. Per palo che ruota in testa (meccanismo di palo "intermedio" o "lungo", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo  $R_{tr,d}$  è **188609.98 [daN]**.

#### 10.2.4.5 Curva di mobilitazione verticale

La curva di mobilitazione del palo è definita dalle seguenti coppie di valori, dove  $s$  è il cedimento, misurato in [cm], ed  $E_d$  è la sollecitazione di sforzo normale (comprensiva del peso proprio del palo), espressa in [daN].

	1	2	3
s	-0.26	0	0.24
$E_d$	-18993.14	0	12231.58

Si riassume in seguito il valore di capacità portante per tutti i casi.

Caso	$Q_{st}[daN]$	$Q_{sc}[daN]$	$Q_{bc}[daN]$	$Q_{tt}[daN]$	$Q_{tc}[daN]$
<b>C1</b>	12231.58	18993.14	0	<b>12231.58</b>	<b>18993.14</b>

$Q_{st}$  = Portata Laterale in Trazione |  $Q_{sc}$  = Portata Laterale in Compressione |  $Q_{bc}$  = Portata di Base in Compressione |  $Q_{tt}$  = Portata TOTALE in Trazione |  $Q_{tc}$  = Portata TOTALE in Compressione

## 10.3 Verifiche

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo.

### 10.4 Verifica: Capacità portante

Punto	Caso	Ses.	$R_d: Q_t[daN]$	$S_d: Q_t[daN]$	$f_s[-]$
PM1	C1	1	18993	14913	1.27

## 10.5 Verifica di resistenza delle sollecitazioni

**Titolo:** sezione palo

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 30 [cm]  
 Raggio interno: 26 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 4 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 46.21 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 303.2 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

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

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C C25/30

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

M<sub>xRd</sub>: 380.6 kN m

$\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 4.828 ‰  
 d: 56 cm  
 x: 23.54 x/d: 0.4203  
 $\delta$ : 0.9654

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

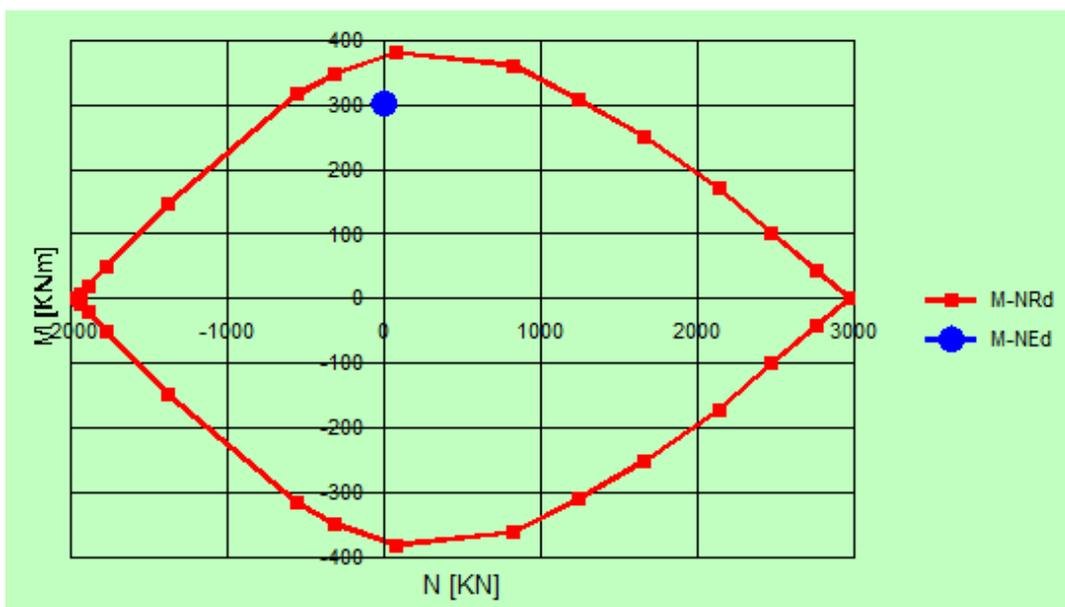
Retta  Deviata

Vertici: 50 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>35 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	35 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	35 di 36								

## 11. PLINTO PANNELLO TOUCH SCREEN

### 11.1 Azione del vento

Considerata la massa del pannello, l'azione del vento è dimensionante rispetto a quella sismica. Il pannello touch screen ha un fronte vento di 0,75 m per 1,85 m e pertanto la forza agente del vento risulta pari a:

$$F = 1,5 \cdot 104 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,75 \text{ m} \cdot 1,85 \text{ m} = 220 \text{ daN}$$

$$M_{rib} = 220 \text{ daN} \cdot 0,9 \text{ m} = 198 \text{ daNm}$$

### 11.2 Verifica del plinto

#### Verifica capacità portante

Il peso del plinto nel quale il pannello touch screen è installato è pari a:

$$P_{plinto} = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 = 750 \text{ daN}$$

Ad esso vanno sommati il momento di trasporto del taglio e il momento dovuto al vento. Pertanto:

$$M_{rib} = 198 \text{ daNm} + 220 \text{ daN} \cdot 0,3 \text{ m} = 264 \text{ daNm}$$

Pertanto l'eccentricità risulta  $e = M/N = 264 \text{ daNm} / 750 \text{ daN} = 0,35 \text{ m}$

$$L' = L - 2 \cdot e = 1 \text{ m} - 2 \cdot 0,35 \text{ m} = 0,3 \text{ m}$$

Si determina il carico limite:

$$Q_{lim} = (1/2 \cdot 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 16,7 + 1900 \text{ daN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 14,71) \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 3943 \text{ daN}$$

$$Q_{lim} / 2,3 = 1714 \text{ daN}$$

$$Q_{lim} / N_{ed} = 1714 \text{ daN} / 750 \text{ daN} = 2,28 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### Verifica a ribaltamento

Momento ribaltante

$$M_{rib} = 264 \text{ daNm}$$

Momento stabilizzante

$$M_{stab} = 0,9 \cdot 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 338 \text{ daNm}$$

$$M_{stab} / M_{rib} = 338 \text{ daNm} / 264 \text{ daNm} = 1,27 > 1 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PLINTI TRAZIONE ELETTRICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z2</td> <td>CL</td> <td>LC0000 001</td> <td>C</td> <td>36 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	36 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z2	CL	LC0000 001	C	36 di 36								

Verifica armatura a flessione

Il plinto è armato con Ø8/20 cm in entrambe le direzioni sia superiormente che inferiormente.

Verifica a punzonamento (elemento non armato a taglio)

L'entità del carico è tale da non richiedere armatura di punzonamento