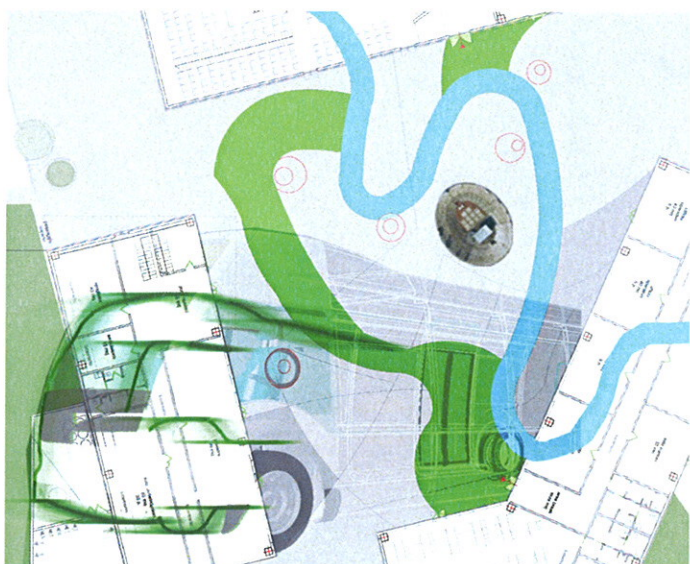


# SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO

GARA D'APPALTO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA,  
L'ESECUZIONE DEI LAVORI E LA FORNITURA DEI VEICOLI

OFFERTA TECNICA  
B2 - PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTO :

IMPIANTI LINEA DI CONTATTO

RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI SOSPENSIONE E ORMEGGIO E RELATIVA FONDAZIONE

CONCORRENTE  
ATI:

**SOVECO**  
COSTRUZIONI SPA

CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI  
CCC

Società cooperativa  
(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

**APTS**  
Advanced Public  
Transport Systems bv

**ALPIQ**  
Alpiq InTec Verona S.p.A.

**MAZZI**  
Impresa Generale Costruzioni  
S.p.A.

**Balfour Beatty**  
Rail

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| SCALA       | -                     |
| RIF. N°     | PDG0100RT04A.doc      |
| ALLEGATO N° | <b>PD G0100 RT04A</b> |

PROGETTAZIONE  
COSTITUENDO R.T.P.:

**TECNITAL**  
(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)  
DIRETTORE TECNICO  
Dott. Ing. Massimo Raccosta

**GIRPA**  
DIRETTORE TECNICO  
Dott. Arch. Valentina Butterini

| REV. | DATA      | DESCRIZIONE | ELABORAZIONE | REDATTO | VISTO      | APPROVATO |
|------|-----------|-------------|--------------|---------|------------|-----------|
| A    | Dic. 2010 | Emissione   | Technital    | Follesa | Tittarelli | Renso     |

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato, in tutto o in parte, senza il consenso scritto. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.  
This document may not be copied, reproduced or published, either in part or entirely, without the written permission. Unauthorized use will be prosecuted by law.

|                                                                              |          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. SPECIFICHE E INDICAZIONI DI BASE PER IL CALCOLO DEI SOSTEGNI .....</b> | <b>2</b> |
| 1.1. INTRODUZIONE .....                                                      | 2        |
| 1.2. IPOTESI DI CALCOLO .....                                                | 2        |
| 1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                                          | 3        |
| 1.4. VERIFICHE.....                                                          | 3        |
| 1.5. COMBINAZIONI DI CARICO.....                                             | 4        |
| 1.6. CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO.....                            | 5        |
| <b>2. TIPOLOGIE DI IMPIEGO E CALCOLO DEI SOSTEGNI .....</b>                  | <b>6</b> |
| 2.1. VERIFICA SOSTEGNO TIPO P29A .....                                       | 7        |
| 2.2. VERIFICA DEL BLOCCO DI FONDAZIONE DEL SOSTEGNO P29A.....                | 17       |

## 1. SPECIFICHE E INDICAZIONI DI BASE PER IL CALCOLO DEI SOSTEGNI

### 1.1. INTRODUZIONE

Il presente calcolo si riferisce ai pali tubolari rastremati (denominati tipo "P") impiegati nel "SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO PER LA CITTA' DI VERONA", per il sostegno della linea di contatto costituita da un sistema bifilare per ogni senso di marcia.

Il bifilare per l'alimentazione ai mezzi è costituito da due fili di rame sagomato (uno per il conduttore positivo e uno per il conduttore negativo), con sezione nominale di 100 mm<sup>2</sup> in rame elettrolitico distanziati fra di loro di 600 mm.

Il materiale di cui sono costituiti i sostegni, acciaio saldabile ad alta resistenza, ha le seguenti caratteristiche:

carico di rottura  $R \geq 59 \text{ daN/mm}^2$

carico di snervamento  $R_s \geq 37 \text{ daN/mm}^2$

### 1.2. IPOTESI DI CALCOLO

I calcoli sono stati impostati nel rispetto delle Norme "CEI 11-4" edizione quinta - 1998/09 "Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne", per quanto applicabile. In particolare il calcolo viene eseguito in accordo all'ipotesi relativa alle **Linee di Zona B** indicata al paragrafo 2.2.04.:

**Zona B:** comprende tutte le località dell'Italia settentrionale e le località ad altitudine superiore a 800 m s.l.m. dell'Italia centrale, meridionale ed insulare.

- **ipotesi 1<sup>a</sup>** : Temperatura di -5° C, con vento che spira orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 130 Km/h senza manicotto di ghiaccio.
- **ipotesi 2<sup>a</sup>** : Temperatura di -20° C, con vento che spira orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 65 Km/h con manicotto di ghiaccio dello spessore di 12 mm.

Per l'**ipotesi 1<sup>a</sup>** nella Norma viene definita una pressione agente su superfici cilindriche e/o conduttori uguale a 72 daN/m<sup>2</sup> (nell'analisi numerica si è assunta l'ipotesi semplificativa 1 Kg =1 daN ), mentre per quanto concerne la spinta sulle superfici piane la Norma riporta il valore di 120 daN/m<sup>2</sup> al quale, in fase di analisi numerica, si applica la medesima ipotesi semplificativa adottata per i carichi agenti sulle superfici cilindriche.



Per l'**ipotesi 2<sup>a</sup>** nella Norma viene definita una pressione agente su superfici cilindriche e/o conduttori uguale a  $18 \text{ daN/m}^2$  (nell'analisi numerica si è assunta l'ipotesi semplificativa  $1 \text{ Kg} = 1 \text{ daN}$  ), mentre per quanto concerne la spinta sulle superfici piane la Norma riporta il valore di  $30 \text{ daN/m}^2$  al quale, in fase di analisi numerica, si applica la medesima ipotesi semplificativa adottata per i carichi agenti sulle superfici cilindriche.

### **1.3.        NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le sollecitazioni e le verifiche strutturali sono state condotte in accordo alle Norme specifiche del settore ed alle norme tecniche per le costruzioni ed in particolare soddisfacendo le seguenti normative:

- NORMA ITALIANA "CEI 11-4" Edizione 5° 1998-09, per quanto applicabile.
- D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

### **1.4.        VERIFICHE**

In accordo al § 2.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" al fine delle verifiche degli stati limite sono state considerate:

Verifiche degli Stati limite ultimi (SLU) § 2.2.1

## 1.5. COMBINAZIONI DI CARICO

In accordo al § 2.5.3 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" al fine delle verifiche degli stati limite sopra citati, nell'analisi delle azioni agenti sulle strutture si sono considerate le seguenti combinazioni:

- Verifiche degli Stati limite ultimi (SLU)

Combinazione fondamentale

$$\gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

Dove:

G1 = Peso proprio di tutti gli elementi strutturali

G2 = Peso proprio di tutti gli elementi NON strutturali

Q1 = Carichi Variabili

$$\gamma_{G1} = 1,1$$

$$\gamma_{G2} = 1,5$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5$$

$$\gamma_{Q2} = 1,5$$

$$\psi_{02} = 0,6$$

Per l'analisi in esame si è assunto che i carichi principali strutturali siano quelli legati al peso della struttura (G1).

Per i carichi variabili si è considerata una sola condizione di carico agente, data dalle sollecitazioni dovute al vento (Q1).

### NOTA:

Per l'analisi in esame si è assunto che i carichi principali strutturali siano quelli legati al peso della struttura (G1).

## 1.6. CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO

Nella *Tabella I* sono indicate le caratteristiche della linea di contatto gravante sui sostegni tipo "P" impiegati nel SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO PER LA CITTA' DI VERONA.

|                                                                                    | Filo di contatto |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| N°                                                                                 | 2                |
| Sezione [ mm <sup>2</sup> ]                                                        | 100              |
| Diametro senza ghiaccio [ mm ]                                                     | 11.80            |
| Tiro a T= +15° C, senza vento [ daN ]                                              | 520              |
| Tiro a T=-5° C, V=130 km/h [ daN ]                                                 | 805              |
| Peso a T=-5°C, V=130 km/h[daN/m]                                                   | 0,89             |
| Tiro [ daN ] a T= -20° C, V=65 km/h<br>con manicotto di ghiaccio 12 mm di spessore | 1005             |
| Peso [daN/m] a T= -20°C, V=65 km/h<br>con manicotto di ghiaccio 12 mm di spessore  | 1.715            |

*Tabella I – Caratteristiche Linea di contatto (Sistema bifilare)*

## **2. TIPOLOGIE DI IMPIEGO E CALCOLO DEI SOSTEGNI**

Nella presente relazione viene fornito a titolo esemplificativo il calcolo per la verifica del palo di sostegno tipo **P29a**.

Le verifiche sulle altre grandezze di pali saranno fornite in fase di progettazione esecutiva.

Nel caso specifico vengono analizzate le condizioni derivanti dai carichi allo stato limite ultimo (SLU) nelle ipotesi 1 e 2 di seguito descritte.

## 2.1. VERIFICA SOSTEGNO TIPO P29A

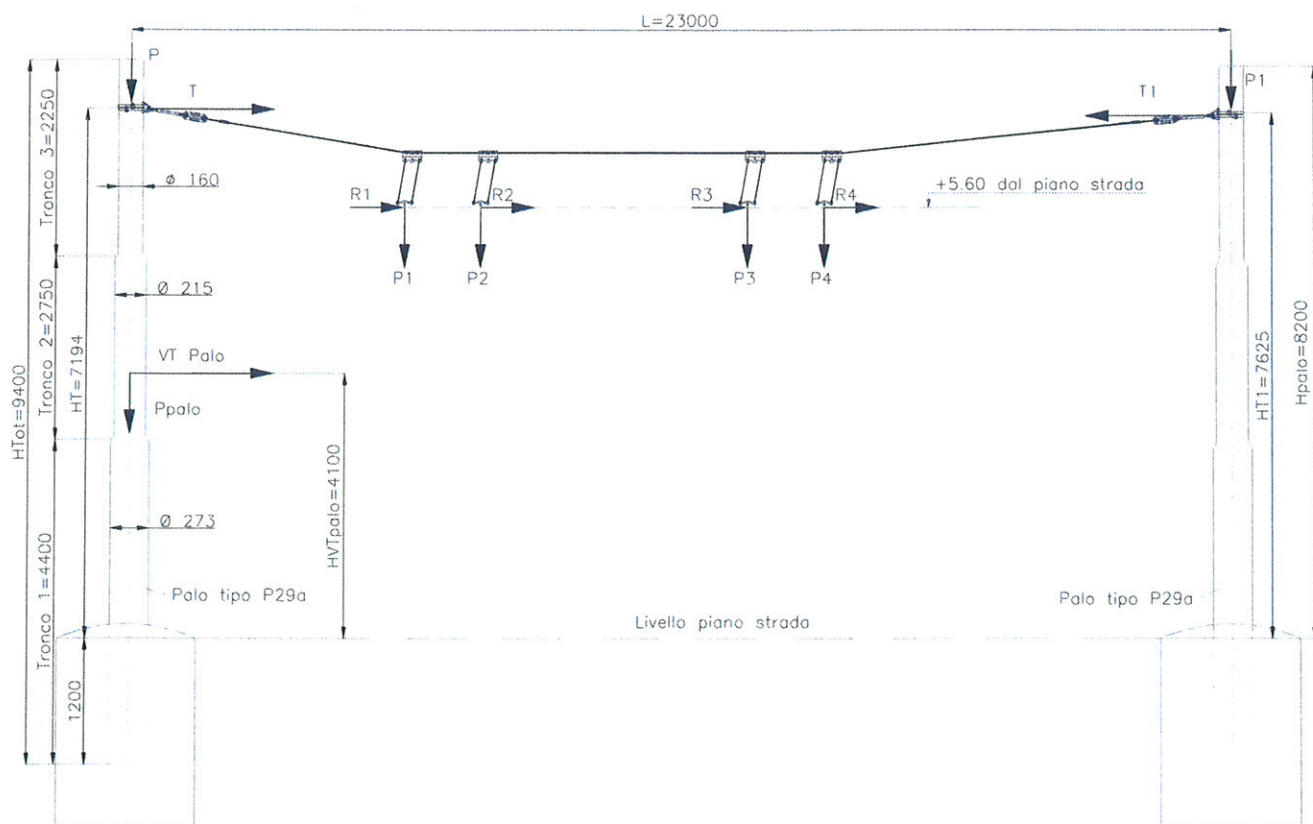


Figura 1: Schema di carico palo tipo P29a



## Verifiche degli stati limite ultimi (SLU)

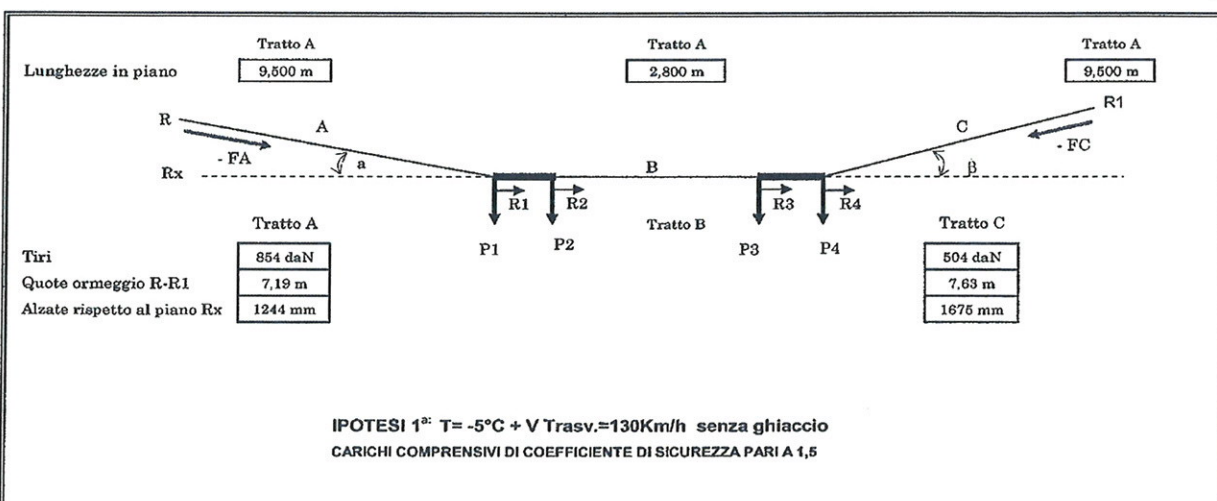
- ipotesi 1<sup>a</sup> : temperatura di -5° C, con vento che spiri orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 130 Km/h senza manicotto di ghiaccio.

Calcolo per trasversale a doppio bifilare

Rettilineo curva

| CAMPATA 1° BIFILARE                                                             | CAMPATA 2° BIFILARE                                                             | DATI COMUNI                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Campata risultante<br>precedente<br>successiva<br>N° fili<br>Peso sospensione 1 | Campata risultante<br>precedente<br>successiva<br>N° fili<br>Peso sospensione 2 | Tiro max. Ft<br>Velocità del vento<br>Sp. manicotto di ghiaccio<br>Sezione fune isolante<br>Modulo elastico fune |
| 30,00 m<br>30,00 m<br>30,00 m<br>2<br>5,0 daN                                   | 30,00 m<br>30,00 m<br>30,00 m<br>2<br>5,0 daN                                   | 795 daN<br>130 Km/h<br>mm<br>,000 cm <sup>2</sup><br>0                                                           |
| DATI FILO DI CONTATTO                                                           | DATI TRASVERSALE                                                                | DATI POLIGONAZIONE FdC                                                                                           |
| Sezione<br>Ø Filo(mm)<br>Peso Sez<br>Altezza trasversale<br>dal piano terra     | Lunghezza tratto A<br>Lunghezza tratto B<br>Lunghezza tratto C                  |                                                                                                                  |
| 100 mm <sup>2</sup><br>11,8 mm<br>,89 kg/m<br>6,0 m                             | 9,500 m<br>2,800 m<br>9,500 m                                                   | R1<br>R2<br>R3<br>R4                                                                                             |

| RIEPILOGO RISULTATI                                                    |                                                                                                   |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forza verticale totale [FPTot]                                         | Forza radiale totale [FXTot]                                                                      | TRASVERSALE VERIFICATO                                                                          |
| 175 daN                                                                | 376 daN                                                                                           |                                                                                                 |
| CARICHI VERTICALI                                                      | CARICHI RADIALI                                                                                   | SOLLECITAZIONI NEI TRATTI A-B-C                                                                 |
| P1 43,8 daN<br>P2 43,8 daN<br>P3 43,8 daN<br>P4 43,8 daN<br>PT 175 daN | Fx1e [-R1] 94 daN<br>Fx2i [-R2] 94 daN<br>Fx3e [-R3] 94 daN<br>Fx4i [-R4] 94 daN<br>TxTot 376 daN | Inclinazione [α] 7,5°<br>Inclinazione [β] 10°<br>VERIFICATO<br>[FA] = 854 daN<br>[FC] = 504 daN |



Carichi critici ( comprensivi dei coefficienti parziali per le azioni ) agenti nei punti di attacco della linea di contatto al sostegno tipo P29a

$$FA = 854,3 \text{ daN}$$

$$FC = 504,1 \text{ daN}$$

da cui:

Carichi agenti in senso trasversale alla linea:

$$T = FA \times \cos \alpha$$

$$\alpha = 7,5^\circ \quad \cos \alpha = 0,991$$

$$T = 854 \text{ daN} \times 0,991 = \mathbf{846,7 \text{ daN}}$$

$$T1 = FC \times \cos \beta$$

$$\beta = 10^\circ \quad \cos \beta = 0,984$$

$$T1 = 504 \text{ daN} \times 0,984 = \mathbf{496,3 \text{ daN}}$$

**VTpalo** = Azione del vento trasversale agente sul sostegno tipo P29a

$$\mathbf{VTpalo} = 130 \text{ daN} \times \gamma_{Q1} = 130 \text{ daN} \times 1,50 = 195 \text{ daN}$$

Carichi verticali

**P palo** = Peso del sostegno tipo P29a

$$\mathbf{Ppalo} = 360 \text{ daN} \times \gamma_{g1} = 360 \text{ daN} \times 1,10 = 396 \text{ daN}$$

**P** = Componente verticale dovuta al carico FA

$$P = FA \times \sin \alpha = 854 \text{ daN} \times \sin 7,5^\circ = 111,5 \text{ daN}$$

**P1** = Componente verticale dovuta al carico FC

$$P1 = FC \times \sin \beta = 504 \text{ daN} \times \sin 10^\circ = 87,52 \text{ daN}$$

$$T > T1 ; P > P1$$

Di conseguenza la verifica del palo tipo P29a viene effettuata considerando i carichi T e P

- **ipotesi 1<sup>a</sup>** : temperatura di -5° C, con vento che spira orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 130 Km/h senza manicotto di ghiaccio.

Azioni agenti alla base del sostegno tipo P29a ( SLU)

**MTT** ( Momento agente in senso trasversale alla linea )

$$\begin{aligned} \mathbf{MTT} &= T \times HT + VT \text{ palo} \times HVT_{\text{palo}} = 846,7 \text{ daN} \times 7,19 \text{ m} + 195 \text{ daN} \times 4,10 \text{ m} = \\ &= 6887,3 \text{ daNm} \end{aligned}$$

**TT** ( Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea ) =  $T + VT_{\text{palo}}$  =

$$= 846,7 \text{ daN} + 195 \text{ daN} = 1041,7 \text{ daN}$$

**V** ( Carico verticale totale ) =  $P + P_{\text{palo}} = 111,5 \text{ daN} + 396 \text{ daN} = 507,5 \text{ daN}$



- **ipotesi 2<sup>a</sup>** : temperatura di -20° C, con vento che spiri orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 65 Km/h con manicotto di ghiaccio dello spessore di 12 mm.

Calcolo per trasversale a doppio bifilare

Rettilineo curva

| CAMPATA 1° BIFILARE                                                                                                                                                         |                     | CAMPATA 2° BIFILARE                   |         | DATI COMUNI                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|------|-------|------|----|------|-------|------|----|------|-------|------|----|------|--------|------|
| Campata risultante                                                                                                                                                          | 30,00 m             | Campata risultante                    | 30,00 m | Tiro max. Ft                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 995 daN              |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| precedente                                                                                                                                                                  | 30,00 m             | precedente                            | 30,00 m | Velocità del vento                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 65 Km/h              |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| successiva                                                                                                                                                                  | 30,00 m             | successiva                            | 30,00 m | Sp. manicotto di ghiaccio                                                                                                                                                                                                                                                                            | 12 mm                |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| N° fili                                                                                                                                                                     | 2                   | N° fili                               | 2       | Sezione fune isolante                                                                                                                                                                                                                                                                                | ,000 cm <sup>2</sup> |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Peso sospensione 1                                                                                                                                                          | 5,0 daN             | Peso sospensione 2                    | 5,0 daN | Modulo elastico fune                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                    |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| DATI FILO DI CONTATTO                                                                                                                                                       |                     | DATI TRASVERSALE                      |         | DATI POLIGONAZIONE FdC                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Sezione                                                                                                                                                                     | 100 mm <sup>2</sup> | Lunghezza tratto A                    | 9,500 m | <table border="1"> <tr> <td>R1</td> <td>,0 °</td> <td>2,5 °</td> <td>,0 °</td> </tr> <tr> <td>R2</td> <td>,0 °</td> <td>2,5 °</td> <td>,0 °</td> </tr> <tr> <td>R3</td> <td>,0 °</td> <td>2,5 °</td> <td>,0 °</td> </tr> <tr> <td>R4</td> <td>,0 °</td> <td>-2,5 °</td> <td>,0 °</td> </tr> </table> |                      | R1 | ,0 ° | 2,5 ° | ,0 ° | R2 | ,0 ° | 2,5 ° | ,0 ° | R3 | ,0 ° | 2,5 ° | ,0 ° | R4 | ,0 ° | -2,5 ° | ,0 ° |
| R1                                                                                                                                                                          | ,0 °                | 2,5 °                                 | ,0 °    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| R2                                                                                                                                                                          | ,0 °                | 2,5 °                                 | ,0 °    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| R3                                                                                                                                                                          | ,0 °                | 2,5 °                                 | ,0 °    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| R4                                                                                                                                                                          | ,0 °                | -2,5 °                                | ,0 °    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Ø Filo(mm)                                                                                                                                                                  | 11,8 mm             | Lunghezza tratto B                    | 2,800 m |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Peso Sez                                                                                                                                                                    | ,89 kg/m            | Lunghezza tratto C                    | 9,500 m |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Altezza trasversale dal piano terra                                                                                                                                         | 6,0 m               |                                       |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| RIEPILOGO RISULTATI                                                                                                                                                         |                     |                                       |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| Forza verticale totale [FPTot] 323 daN                                                                                                                                      |                     | Forza radiale totale [FXTot] -299 daN |         | TRASVERSALE VERIFICATO                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| CARICHI VERTICALI                                                                                                                                                           |                     | CARICHI RADIALI                       |         | SOLLECITAZIONI NEI TRATTI A-B-C                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| P1 80,7 daN                                                                                                                                                                 |                     | Fx1e [-R1] 75 daN                     |         | Inclinazione [α] 7,5 °                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| P2 80,7 daN                                                                                                                                                                 |                     | Fx2i [-R2] 75 daN                     |         | Inclinazione [β] 10 °                                                                                                                                                                                                                                                                                |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| P3 80,7 daN                                                                                                                                                                 |                     | Fx3e [-R3] 75 daN                     |         | VERIFICATO                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| P4 80,7 daN                                                                                                                                                                 |                     | Fx4i [-R4] 75 daN                     |         | [FA] = 1253 daN                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| PT 323 daN                                                                                                                                                                  |                     | TxTot 299 daN                         |         | [FC] = 956 daN                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
|                                                                                                                                                                             |                     |                                       |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |
| <p><b>IPOTESI 2<sup>a</sup>: T = -20°C + V Trasv.=65Km/h e manicotto di ghiaccio sp. 12mm</b></p> <p><b>CARICHI COMPRENSIVI DI COEFFICIENTE DI SICUREZZA PARI A 1,5</b></p> |                     |                                       |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |       |      |    |      |        |      |



Carichi critici ( comprensivi dei coefficienti parziali per le azioni ) agenti nei punti di attacco della linea di contatto al sostegno tipo P29a

$$FA = 1253 \text{ daN}$$

$$FC = 956 \text{ daN}$$

da cui:

Carichi agenti in senso trasversale alla linea:

$$T = FA \times \cos \alpha$$

$$\alpha = 7,5^\circ \quad \cos \alpha = 0,991$$

$$T = 1253 \text{ daN} \times 0,991 = \mathbf{1242,3 \text{ daN}}$$

$$T1 = FC \times \cos \beta$$

$$\beta = 10^\circ \quad \cos \beta = 0,984$$

$$T1 = 956 \text{ daN} \times 0,984 = \mathbf{941,5 \text{ daN}}$$

**VTpalo** = Azione del vento trasversale agente sul sostegno tipo P29a

$$\mathbf{VTpalo} = 32,5 \text{ daN} \times \gamma_{Q1} = 32,5 \text{ daN} \times 1,50 = 48,75 \text{ daN}$$

Carichi verticali

**P palo** = Peso del sostegno tipo P29a

$$\mathbf{Ppalo} = 360 \text{ daN} \times \gamma_{g1} = 360 \text{ daN} \times 1,10 = 396 \text{ daN}$$

**P** = Componente verticale dovuta al carico FA

$$P = FA \times \sin \alpha = 1253 \text{ daN} \times \sin 7,5^\circ = 163,6 \text{ daN}$$

**P1** = Componente verticale dovuta al carico FC

$$P1 = FC \times \sin \beta = 956 \text{ daN} \times \sin 10^\circ = 166 \text{ daN}$$

La verifica del palo tipo P29a viene effettuata considerando i carichi T e P che danno origine a carichi alla base del sostegno maggiori di quelli che si otterrebbero considerando i carichi T1 e P1

- **ipotesi 2<sup>a</sup>** : temperatura di -20° C, con vento che spiri orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 65 Km/h con manicotto di ghiaccio dello spessore di 12 mm.

Azioni agenti alla base del sostegno tipo P29a ( SLU)

**MTT** ( Momento agente in senso trasversale alla linea )

$$\begin{aligned}\mathbf{MTT} &= T \times HT + VT \text{ palo} \times HVT\text{palo} = 1242,3 \text{ daN} \times 7,2 \text{ m} + 48,75 \text{ daN} \times 4,10 \text{ m} = \\ &= 9144,4 \text{ daNm}\end{aligned}$$

**TT** ( Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea ) =  $T + VT\text{palo} =$

$$= 1242,3 \text{ daN} + 48,75 \text{ daN} = 1291,1 \text{ daN}$$

$$\mathbf{V} \text{ ( Carico verticale totale )} = P + P\text{palo} = 163,6 \text{ daN} + 396 \text{ daN} = 559,6 \text{ daN}$$

• **VERIFICHE DI RESISTENZA** ( § 4.2.4.1.2 del D.M. 14 Gennaio 2008)

Stati limite ultimi (SLU)

**SEZIONE DI BASE Ø 273 mm x 6,3 mm di spessore**

Caratteristiche geometriche della sezione:

A ( area della sezione metallica ) = 52,78 cm<sup>2</sup>

W ( modulo elastico di resistenza a flessione ) = 344 cm<sup>3</sup>

- **ipotesi 1<sup>a</sup>** : temperatura di -5° C, con vento che spiri orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 130 Km/h senza manicotto di ghiaccio.

Carichi di progetto ( SLU ) agenti alla base del sostegno tipo P29a

MT = 6887,3 daNm ( Momento agente in senso trasversale alla linea)

TT = 1041,7 daN ( Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea )

V = 507.5 daN ( Carico verticale totale )

- **ipotesi 2<sup>a</sup>** : temperatura di -20° C, con vento che spiri orizzontalmente e normalmente alla linea, alla velocità di 65 Km/h con manicotto di ghiaccio .

Carichi critici ( SLU ) agenti alla base del sostegno tipo P29a

MT = 9144,4 daNm ( Momento agente in senso trasversale alla linea)

TT = 1291,1 daN ( Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea )

V = 559.6 daN ( Carico verticale totale )



### La verifica viene svolta considerando i carichi dell' Ipotesi 2<sup>a</sup>

In accordo al § 4.2.4.1.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" nel caso in cui il taglio di calcolo,  $V_{Ed}$ , sia inferiore al 50% della resistenza di calcolo a taglio,  $V_{c,R,d}$ , la resistenza a flessione della sezione può essere calcolata con le formule per la tenso/pressoflessione.

La tensione tangenziale definita come:

$$\tau = \frac{TT}{A} = \frac{1291,1 \cdot 10}{5278} = 2,45 \text{ N/mm}^2 < \text{di } 101,7 \text{ N/mm}^2 \text{ ( 50\% della resistenza di calcolo a taglio).}$$

Per sezioni generiche di classe 1 e 2 la verifica si conduce controllando che il momento di progetto sia minore del momento plastico di progetto.

$$\text{Momento plastico di progetto } M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \text{ per le sezioni di classe 1 e 2}$$

$$W_{pl} \text{ (Modulo plastico di resistenza a flessione) } = 448 \text{ cm}^3$$

$$f_{yk} \text{ ( carico unitario di snervamento ) } = 370 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,05 \text{ da Tabella 4.2.V del D.M. 14 Gennaio 2008 -Norme Tecniche per le costruzioni.}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{448 \cdot 1000 \cdot 370}{1,05} = 157866667 \text{ Nmm}$$

$$MT = 9144,4 \text{ daNm} \times 10 \times 1000 = 91444000 \text{ Nmm ( momento di progetto )}$$

$$K = MT / M_{pl,Rd} = 91444000 \text{ Nmm} / 157866667 \text{ Nmm} = 0,58 < 1,00$$

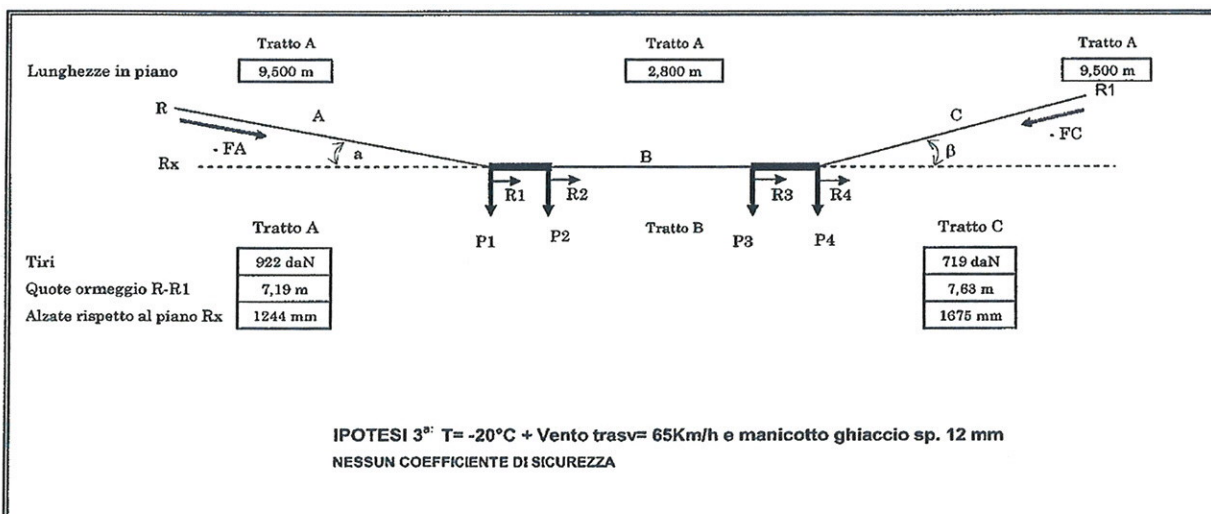
Le verifiche degli stati limite di esercizio SLE e tensionale per altre condizioni di carico non vengono eseguite, in quanto i risultati sono inferiori a quelli che si ottengono per le verifiche degli SLU. Per quanto riguarda spostamenti e deformazioni, il valore della freccia alla sommità del palo viene annullato dallo strapiombo dato in fase di montaggio.

## 2.2. VERIFICA DEL BLOCCO DI FONDAZIONE DEL SOSTEGNO P29A

Calcolo dei carichi di lavoro ( con coefficienti parziali per le azioni uguali a 1,00 )

| CAMPATA 1° BIFILARE                                                                                                                                                                                                 | CAMPATA 2° BIFILARE                                                                                                                                                                                                 | DATI COMUNI                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>Campata risultante</div> <div>precedente</div> <div>successiva</div> <div>N° fili</div> <div>Peso sospensione 1</div> <div>30,00 m</div> <div>30,00 m</div> <div>30,00 m</div> <div>2</div> <div>5,0 daN</div> | <div>Campata risultante</div> <div>precedente</div> <div>successiva</div> <div>N° fili</div> <div>Peso sospensione 2</div> <div>30,00 m</div> <div>30,00 m</div> <div>30,00 m</div> <div>2</div> <div>5,0 daN</div> | <div>Tiro max. Ft</div> <div>Velocità del vento</div> <div>Sp. manicotto di ghiaccio</div> <div>Sezione fune isolante</div> <div>Modulo elastico fune</div> <div>995 daN</div> <div>65 Km/h</div> <div>12 mm</div> <div>,000 cm²</div> <div>0</div>         |
| DATI FILO DI CONTATTO                                                                                                                                                                                               | DATI TRASVERSALE                                                                                                                                                                                                    | DATI POLIGONAZIONE FdC                                                                                                                                                                                                                                      |
| <div>Sezione</div> <div>Ø Filo(mm)</div> <div>Peso Sez</div> <div>Altezza trasversale dal piano terra</div> <div>100 mm²2</div> <div>11,8 mm</div> <div>,89 kg/m</div> <div>6,0 m</div>                             | <div>Lunghezza tratto A</div> <div>Lunghezza tratto B</div> <div>Lunghezza tratto C</div> <div>9,500 m</div> <div>2,800 m</div> <div>9,500 m</div>                                                                  | <div>R1</div> <div>R2</div> <div>R3</div> <div>R4</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> <div>2,5 °</div> <div>2,5 °</div> <div>2,5 °</div> <div>2,5 °</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> <div>,0 °</div> |

| RIEPILOGO RISULTATI                                                            |                                                                                                           |                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forza verticale totale [FPTot] 215 daN                                         | Forza radiale totale [FXTot] 200 daN                                                                      | TRASVERSALE VERIFICATO                                                                                  |
| CARICHI VERTICALI                                                              | CARICHI RADIALI                                                                                           | SOLLECITAZIONI NEI TRATTI A-B-C                                                                         |
| P1 53,8 daN<br>P2 53,8 daN<br><br>P3 53,8 daN<br>P4 53,8 daN<br><br>PT 215 daN | Fx1e [-R1] 50 daN<br>Fx2i [-R2] 50 daN<br><br>Fx3e [-R3] 50 daN<br>Fx4i [-R4] 50 daN<br><br>TxTot 200 daN | Inclinazione [α] 7,5 °<br>Inclinazione [β] 10 °<br><br>VERIFICATO<br>[FT] A= 922 daN<br>[FT] C= 719 daN |



$$FA = 922 \text{ daN}$$

$$FC = 719 \text{ daN}$$

da cui:

Carichi agenti in senso trasversale alla linea:

$$T = FA \times \cos \alpha$$

$$\alpha = 7,5^\circ \quad \cos \alpha = 0,991$$

$$T = 922 \text{ daN} \times 0,991 = \mathbf{913,7 \text{ daN}}$$

$$T1 = FC \times \cos \beta$$

$$\beta = 10^\circ \quad \cos \beta = 0,984$$

$$T1 = 719 \text{ daN} \times 0,984 = \mathbf{707,5 \text{ daN}}$$

**VTpalo** = Azione del vento trasversale agente sul sostegno tipo P29a

$$VTpalo = 32,5 \text{ daN} \times \gamma_{Q1} = 32,5 \text{ daN} \times 1,0 = 32,5 \text{ daN}$$

Carichi verticali

**P palo** = Peso del sostegno tipo P29a

$$P_{palo} = 360 \text{ daN} \times \gamma_{g1} = 360 \text{ daN} \times 1,0 = 360 \text{ daN}$$

**P** = Componente verticale dovuta al carico FA

$$P = FA \times \sin \alpha = 922 \text{ daN} \times \sin 7,5^\circ = 120,4 \text{ daN}$$

**P1** = Componente verticale dovuta al carico FC

$$P1 = FC \times \sin \beta = 719 \text{ daN} \times \sin 10^\circ = 124,9 \text{ daN}$$



### Azioni agenti alla base del sostegno tipo P29a - Ipotesi 3<sup>a</sup>

**MTT** ( Momento agente in senso trasversale alla linea )

$$\begin{aligned}\mathbf{MTT} &= T \times HT + VT \text{ palo} \times HVT\text{palo} = 913,7 \text{ daN} \times 7,2 \text{ m} + 32,5 \text{ daN} \times 4,10 \text{ m} = \\ &= 6711,9 \text{ daN}\end{aligned}$$

**TT** ( Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea ) =  $T + VT\text{palo} =$

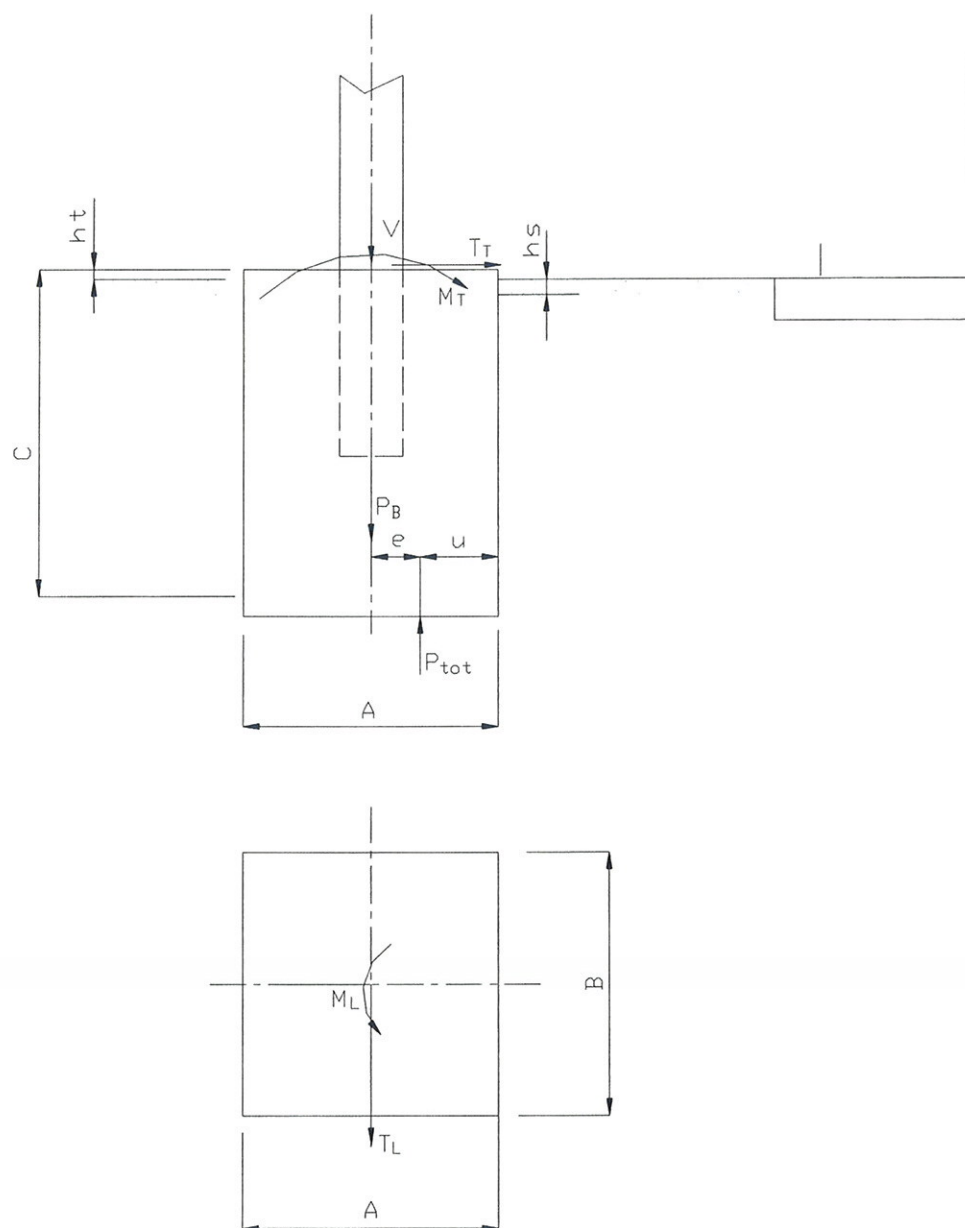
$$= 913,7 \text{ daN} + 32,5 \text{ daN} = 946,2 \text{ daN}$$

**V** ( Carico verticale totale ) =  $P + P\text{palo} = 120,4 \text{ daN} + 360 \text{ daN} = 480,4 \text{ daN}$

La verifica del blocco di fondazione viene eseguita considerando i carichi agenti alla base del sostegno che derivano dall' **Ipotesi 3<sup>a</sup>**, che risultano essere i più gravosi ai fini della verifica del blocco di fondazione, che sarà di calcestruzzo con classe di resistenza

**Rck** = 30 N/mm<sup>2</sup> in accordo alle norme UNI 9858/91.

## Blocco di fondazione per sostegno tipo P29a



$M_T$  = Momento agente in senso trasversale alla linea

$T_T$  = Azione di taglio agente in senso trasversale alla linea

$M_L$  = Momento agente in senso parallelo alla linea

$T_L$  = Azione di taglio agente in senso parallelo alla linea

## CALCOLO BLOCCO DI FONDAZIONE

Condizione di impiego: In Piano

Sostegno Tipo P29a

SOLLECITAZIONI AGENTI ALLA BASE DEL PALO ( Catichi di lavoro con coefficienti parziali per le azioni uguale a 1,00

|           |         |           |         |        |
|-----------|---------|-----------|---------|--------|
| )         |         |           |         |        |
| Momento   | $M_T =$ | 6712 daNm | $M_L =$ | 0 daNm |
| Verticale | $V =$   | 480,4 daN | $T_L =$ | 0 daNm |
| Taglio    | $T_T =$ | 946,2 daN |         |        |

### VERIFICA

|                                    |         |                         |
|------------------------------------|---------|-------------------------|
| Peso specifico del calcestruzzo    | $W_c =$ | 2200 daN/m <sup>3</sup> |
| Peso specifico del Terreno         | $W_t =$ | 1600 daN/m <sup>3</sup> |
| Coefficiente specifico del Terreno | $W_s =$ | 800 daN/m <sup>3</sup>  |

Dimensioni blocco di fondazione

|     |      |   |
|-----|------|---|
| A = | 1,60 | m |
| B = | 1,60 | m |
| C = | 1,70 | m |

|                                            |        |      |   |
|--------------------------------------------|--------|------|---|
| Distanza filo superiore pilastro - terreno | $ht =$ | 0,1  | m |
| Altezza del terreno sciolto                | $hs =$ | 0,10 | m |
|                                            | $h =$  |      | m |

|                                             |                                                                                  |                      |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Volume del blocco di fondazione             | $V_B = A \times B \times C =$                                                    | 4,352 m <sup>3</sup> |
| Peso del blocco di fondazione               | $P_B = W_c \times V_B =$                                                         | 9574 daN             |
| Peso Totale: Blocco di Fondazione+Verticale | $P_{tot} = P_B + V =$                                                            | 10055 daN            |
| Contributo Resistente del terreno           | $CT = W_s \times B \times (C - ht - hs)^3 =$                                     | 4317 daNm            |
| Momento stabilizzante Totale                | $MS_{tot} = CT + 0.85 \times P_{tot} \times A / 2 =$                             | 11155 daNm           |
| Momento ribaltante                          | $M_{Rib,e} = [(M_T \times T_T \times (C))^2 + (M_L + T_L \times (C))^2]^{1/2} =$ | 8321 daNm            |

|                           |                               |         |        |                      |
|---------------------------|-------------------------------|---------|--------|----------------------|
| Sicurezza al ribaltamento | $SF = MS_{tot} / M_{Rib,e} =$ | 11155 / | 8321 = | 1,34                 |
|                           |                               |         |        | verifica soddisfatta |

### calcolo della pressione di esercizio laterale sul terreno di fondazione

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Momento resistente laterale $CT =$ | 5613 daNm                |
| pressione laterale massima $=$     | 0,99 daN/cm <sup>2</sup> |

### calcolo della pressione di esercizio di base sul terreno di fondazione

|                                                                    |      |                     |       |   |        |
|--------------------------------------------------------------------|------|---------------------|-------|---|--------|
| M rib assorbito dalla base = Mres = M <sub>Rib,e</sub> -Mres lat = | 2708 |                     |       |   |        |
| ( Pressione terreno per (P <sub>tot</sub> ) / Ax B =               | 0,39 | daN/cm <sup>2</sup> |       |   |        |
| a/6 =                                                              | 0,27 | m                   |       |   |        |
| u = A/2 - e                                                        | 0,53 | m                   |       |   |        |
| eccentricità e = Mres / (P <sub>tot</sub> )                        | 2708 | /                   | 10055 | = | 0,27 m |

|           |                     |                              |
|-----------|---------------------|------------------------------|
|           | $e < a/6$           | $e > a/6$                    |
| sigma t = | daN/cm <sup>2</sup> | 0,83 max daN/cm <sup>2</sup> |