

COMMITTENTE:



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

IL DIRETTORE FUNZIONALE
Dott. Ing. Diego Galiazzi

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Arch. Gaetano Panetta

PROGETTAZIONE: MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE



MANDANTE



ITALFERR S.p.A.

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

LINEA DI CONTATTO

Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto

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

SCALA:

-

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

NP00 00 D 18 CL LC0000 006 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|------------------|
| A | EMISSIONE ESECUTIVA | <i>Vergon</i> | Aprile 2020 | <i>Vergon</i> | Aprile 2020 | A. Peressio <i>[Signature]</i> | Aprile 2020 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| <p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">SWISS</p> | <p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p> | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|------------|---|--------|
| <p>Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>LC0000 006</td> <td>A</td> <td>2 di 7</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NP00 | 00 D 18 | CL | LC0000 006 | A | 2 di 7 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NP00 | 00 D 18 | CL | LC0000 006 | A | 2 di 7 | | | | | | | | |

INDICE

| | | |
|-----|---|---|
| 1. | SCOPO | 3 |
| 2. | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 3 |
| 3. | TABELLA DI TESATURA FILO DI CONTATTO DA 120 MM ² | 3 |
| 3.1 | TABELLA DI POSA FILO ORMEGGIATO FISSO | 3 |
| 3.2 | VERIFICA DEI CARICHI A TRAZIONE AMMISSIBILI (FILO FISSO) | 6 |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| <p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p> | | | | | |
| <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p> | | | | |
| <p>Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto</p> | <p>COMMESSA</p> <p>NP00</p> | <p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p> | <p>CODIFICA</p> <p>CL</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 006</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>3 di 7</p> |

1. SCOPO

Scopo del presente documento, nell'ambito del progetto definitivo della Tramvia di Padova linea SIR3, è definire le condizioni di posa del filo di contatto in funzione della temperatura ambiente presente al momento dell'installazione.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- CEI EN 50119 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica
- CEI EN 50149 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Trazione elettrica – Fili sagomati di contatto in rame e lega di rame
- CEI EN 50122-1 Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse. - Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra.
- CEI EN 50122-2 Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse. - Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate dai sistemi di trazione a corrente continua.
- CEI EN 50125-2 “Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Condizioni ambientali per le apparecchiature - Parte 2: Impianti elettrici fissi”.

3. TABELLA DI TESATURA FILO DI CONTATTO DA 120 MM²

3.1 TABELLA DI POSA FILO ORMEGGIATO FISSO

La linea di contatto viene realizzata con campate massime di mt 23,5 ed in base alle diverse temperature di posa, alle condutture verranno applicati i tiri riportati nella tabella di posa.

Le Norme CEI EN 50119:2010-05 prescrivono le seguenti condizioni atmosferiche:

- A1 - Temperatura minima di progetto -20°C, senza Vento e Ghiaccio;
- A2 - Temperatura ambiente di progetto +5°C, senza Vento e Ghiaccio;
- B - Temperatura ambiente di progetto +5°C, con Vento, senza Ghiaccio;
- C - Temperatura di progetto -5°C, senza Vento, con Ghiaccio;
- D - Temperatura di progetto -5°C, con Vento al 50%, con Ghiaccio al 100%.

| | | | | | | |
|--|---|--|--|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|  MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI | MANDANTE  INGEGNERIA ED ARCHITETTURA | MANDANTE  PINI SWISS | PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO | | | |
| Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto | COMMESSA NP00 | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO LC0000 006 | REV. A | FOGLIO 4 di 7 |

Per determinare i tiri sul filo di contatto alle varie temperature comprese tra la temperatura minima di -20°C e la massima di $+55^{\circ}\text{C}$, si ricorre all'equazione di terzo grado detta del "cambiamento di stato".

I dati di partenza sono i seguenti:

- Temperatura di riferimento +15°C
- Tiro di riferimento (filo scarico) 750 daN
- Sezione conduttore 120 mm²
- Diametro conduttore 13,2 mm
- Peso lineare del conduttore 1,1 kg/m=1,08 daN/m
- Coeff. Dilatazione termica 0,000017 m/°C
- Coeff. Di elasticità 11000 kg/mm²
- Vento 25 m/s (NTC 2018)
- Ghiaccio 0,7 daN/m (da CEI EN 50125-2)

In base all'equazione di stato si ricavano i valori del tiro e della freccia del filo di contatto nelle varie combinazioni di carico descritte precedentemente (A1, A2, B, C e D):

| variabile | Tipo di conduttore nudo | | | valore | U.M. |
|-----------|---|--|--|-----------------|------------------------|
| t1 | Temperatura in gradi centigradi nelle condizioni di posa | | | | |
| t2 | Temperatura in °C nelle condizioni di massimo/minimo sovraccarico | | | | |
| T1 | Tensione totale alla temp. T1 iniziale | | | 750 | [daN] |
| T2 | Tensione totale alla temp. t2 | | | | |
| E | E(Mod. elasticità) [daN/mm ²] | | | 11000 | [daN/mm ²] |
| S | Sezione nominale del conduttore | | | 120 | [mm ²] |
| e | Coefficiente di allungamento elastico | | | | |
| beta | Coefficiente di allungamento elastico unitario | | | | |
| alfa | Coefficiente di dilatazione termica | | | 0,000017 | [1/°C] |
| P1 | Peso massimo condizioni di posa | | | | |
| P2 | Peso conduttore sovraccarico | | | | |
| C | Campata | | | 23,5 | [m] |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| <p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | | PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO | | | | | | |
| <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p> | | | | | | |
| Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto | | | <p>COMMESSA</p> <p>NP00</p> | <p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p> | <p>CODIFICA</p> <p>CL</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 006</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>5 di 7</p> |

$$T_2^3 + \left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot (t_2 - t_1) + \frac{P_1^2 \cdot C^2}{24 \cdot \beta \cdot T_1^2} - T_1\right) \cdot T_2^2 - \left(\frac{P_2^2 \cdot C^2}{24 \cdot \beta}\right) =$$

| CONDIZIONE | | A1 | A2 | B | C | D | MAX freccia |
|------------|--------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| VAR. | U.M. | -20°C/V0%/G0% | +5°C/V0%/G0% | +5°C/V100%/G0% | -5°C/V0%/G100% | -5°C/V50%/G100% | +45°C/V100%/G0% |
| t1 | [°C] | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| t2 | [°C] | -20 | 5 | 5 | -5 | -5 | 45 |
| T1 | [Kg] | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 |
| S | [mm ²] | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| e | | 9,26698E-05 | 9,26698E-05 | 9,26698E-05 | 9,26698E-05 | 9,26698E-05 | 9,26698E-05 |
| beta | | 7,72248E-07 | 7,72248E-07 | 7,72248E-07 | 7,72248E-07 | 7,72248E-07 | 7,72248E-07 |
| alfa | | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 |
| P1 | [Kg/m] | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| P2 | [Kg/m] | 1,07 | 1,07 | 1,37 | 1,77 | 1,50 | 1,37 |
| C | [m] | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 23,5 |
| a1 | | -1476,64 | -926,30 | -926,30 | -1146,43 | -1146,43 | -45,75 |
| a3 | | -34114183 | -34114183 | -55845356 | -93349921 | -66996305 | -55845356 |
| Q | | -242274 | -95336 | -95336 | -146035 | -146035 | -233 |
| R | | 136307245 | 46493712 | 57359298 | 102481293 | 89304485 | 27926225 |
| s | | 587,07 | 435,30 | 474,14 | 573,31 | 541,78 | 382,25 |
| T | | 412,69 | 219,01 | 201,07 | 254,72 | 269,55 | 0,61 |
| T2 | [kg] | 1492 | 963 | 984 | 1210 | 1193 | 398 |
| T2 | [daN] | 1464 | 945 | 965 | 1187 | 1171 | 391 |
| f | [cm] | 5,0 | 7,7 | 9,6 | 10,1 | 8,7 | 23,7 |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| <p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p> | | | | | |
| <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p> | | | | |
| <p>Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto</p> | <p>COMMESSA</p> <p>NP00</p> | <p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p> | <p>CODIFICA</p> <p>CL</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 006</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>6 di 7</p> |

Applicando l'equazione di stato ed in base ai dati sopra esposti si ricava la seguente **TABELLA DI POSA** per il filo scarico:

| temperatura [°C] | Tiro | U.M. | Freccia | U.M. |
|----------------------|-------------|-------|-------------|------|
| -20°C (filo scarico) | 1464 | [daN] | 5,0 | [cm] |
| -15°C (filo scarico) | 1358 | [daN] | 5,3 | [cm] |
| -10°C (filo scarico) | 1253 | [daN] | 5,8 | [cm] |
| -5°C (filo scarico) | 1149 | [daN] | 6,3 | [cm] |
| 0°C (filo scarico) | 1046 | [daN] | 6,9 | [cm] |
| 5°C (filo scarico) | 945 | [daN] | 7,7 | [cm] |
| 10°C (filo scarico) | 846 | [daN] | 8,6 | [cm] |
| 15°C (filo scarico) | 750 | [daN] | 9,7 | [cm] |
| 20°C (filo scarico) | 659 | [daN] | 11,0 | [cm] |
| 25°C (filo scarico) | 574 | [daN] | 12,6 | [cm] |
| 30°C (filo scarico) | 498 | [daN] | 14,5 | [cm] |
| 35°C (filo scarico) | 433 | [daN] | 16,7 | [cm] |
| 40°C (filo scarico) | 378 | [daN] | 19,2 | [cm] |
| 45°C (filo scarico) | 334 | [daN] | 21,7 | [cm] |
| 50°C (filo scarico) | 298 | [daN] | 24,3 | [cm] |
| 55°C (filo scarico) | 270 | [daN] | 26,8 | [cm] |

3.2 VERIFICA DEI CARICHI A TRAZIONE AMMISSIBILI (Filo Fisso)

Considerando che per un conduttore di rame della sezione di 120 mm² il carico di rottura minimo è di 4271 kg pari a 4190 daN (filo tipo AC-120 CEI EN 50149 – Cu-ETP UNI EN 1977 in rame ad alta resistenza), il tiro applicato nelle due ipotesi risulta essere inferiore a quanto previsto dalle norme CEI EN 50119:2010-05.

In accordo alla norma CEI EN 50119:2010-05 il carico ammissibile a trazione di un filo di contatto sagomato dipende dai parametri dati nei paragrafi da 5.3.2 a 5.3.7 (che variano nel caso di filo di contatto con tiro regolato o con tiro fisso).

La resistenza minima a trazione del filo di contatto sagomato deve essere moltiplicata per il prodotto di questi fattori per ottenere il massimo carico a trazione ammissibile in esercizio.

Lo sforzo a trazione calcolato per il filo sagomato di contatto non deve superare il 65% della resistenza minima a trazione del filo sagomato di contatto.

La verifica si conduce per mezzo della seguente formula:

| | | | | | | |
|---|---|--|----------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------------|
| <p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p> | | | | | |
| <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p> | <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p> | | | | |
| <p>Verifica campata e tiro massimo su filo di contatto</p> | <p>COMMESSA</p> <p>NP00</p> | <p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p> | <p>CODIFICA</p> <p>CL</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>LC0000 006</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>7 di 7</p> |

$$\sigma_w = \sigma_{\min} \times n \times K_{\text{temp}} \times K_{\text{wear}} \times K_{\text{icewind}} \times K_{\text{eff}} \times K_{\text{clamp}} \times K_{\text{joint}}$$

Dove nel caso di condutture fisso:

$n=0,65$ (fattore di sicurezza)

$K_{\text{temp}} = 1,00$ (temperature massima filo di contatto pari a 80°C)

$K_{\text{wear}} = 0,70$ (usura ammissibile)

$K_{\text{icewind}} = 0,80$ (filo di contatto e fune portante ad ormeggio fisso solo vento)

$K_{\text{eff}} = 1,00$ (ormeggi fissi)

$K_{\text{clamp}} = 1,00$ (accessori di ormeggio)

$K_{\text{joint}} = 1,00$ (non sono previste giunzioni sul filo di contatto)

$\sigma_{\min} = 360 \text{ N/mm}^2$

Risulta per il filo di contatto fisso:

$$\underline{\sigma_w = 131 \text{ N/mm}^2 > 14640 / 120 = 122 \text{ N/mm}^2 \text{ *VERIFICATO*}}$$