

Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)

1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)



**INTERVENTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVE LINEE  
FILOVIARIE ED ESTENSIONE DELLE LINEE ESISTENTI PER IL  
POTENZIAMENTO DEL SERVIZIO DEL COMUNE DELLA SPEZIA, IN  
ATTUAZIONE DEL PIANO URBANO DELLA MOBILITÀ  
SOSTENIBILE**

**SUBINTERVENTO 1.2.a FILOVIA (C.U.P.: G47J18000290001):**

**potenziamento dell'infrastruttura dell'impianto filoviario urbano  
della Spezia**

## **PROGETTO DEFINITIVO**

## **INTERVENTO 2E**

### **Relazione tecnica**

**progetto di rinnovo impianti esistente e  
ampliamento dell'impianto filoviario interno a  
sito Via Lunigiana 241 alla SPEZIA**

**Il progettista**  
Dott. Ing. G. Zanelli

**Il Committente**  
Dott. Ing. S. Sciurpa

**SOGGETTO BENEFICIARIO: COMUNE DELLA SPEZIA**

**SOGGETTO ATTUATORE: ATC Mobilità e Parcheggi S.p.A.**

**Finanziato con il Fondo di cui all'articolo 1, comma 140, della legge 11 dicembre 2016, n. 232,  
destinate al Trasporto Rapido di Massa**

Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)

1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)

## INDICE RELAZIONE

<b>1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>3</b>
1.1 DESCRIZIONE MODIFICA ED OBIETTIVI DELL'INTERVENTO .....	3
1.2 TRATTO DI LINEA FILOVIARIE ESISTENTE E DI STRADA INTERESSATO DALLA MODIFICA.....	3
1.3 DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO .....	4
<b>2 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'IMPIANTO FILOVIARIO .....</b>	<b>6</b>
2.1 DESCRIZIONE COMPONENTI .....	6
<b>2 DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI E CALCOLI DI VERIFICA .....</b>	<b>7</b>
2.1 PREMessa .....	9
2.2 DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONE ED I CALCOLI DI VERIFICA SUI PALI DI SOSTEGNO .	9
2.2.1 Quote punti d'applicazione sollecitazioni sui sostegni rispetto ad incastri .....	10
2.2.2 Sollecitazioni indotte dalla linea.....	11
2.2.3 Sollecitazioni indotte direttamente sul palo di sostegno .....	15
2.2.4 Calcoli di verifica.....	16
2.3 CALCOLO DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE .....	20
2.3.1 Tipologia fondazioni .....	20
2.3.2 Modello di calcolo fondazioni .....	21
LE DIMENSIONI DEI BLOCCHI, CALCOLATE CON I CRITERI SOPRA INDICATI, ED I CALCOLI DI VERIFICA SONO RIPORTATI NELLE SCHEDE DI CALCOLO DA ELABORAR ENEL PROGETTO ESECUTIVO. ....	22
2.4 SOLLECITAZIONI INDOTTE DAI COMPONENTI NUOVI <b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>	
2.4.1 Premessa .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.4.2 Determinazione sollecitazioni da scambi .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI NEI TIRANTI TRASVERSALI .....	22
2.7 CALCOLO DI VERIFICA DEGLI ANCORAGGI A MURO.....	22
2.7.1 Descrizione ancoraggi a muro.....	22

### ALLEGATO 2 Elenco pali e caratterizzazione

### ALLEGATO 4 elaborati grafici:

<b>TAVOLA 1</b>	<b>Modifica interna sito Via Lunigiana 241 LA SPEZIA - PLANIMETRIA PROGETTO</b>	<b>scala 1:200</b>
<b>TAVOLA 2</b>	<b>Rinnovo impianto filoviario - PROGETTO SOSTITUZIONE PALI FILOVIARI</b>	<b>scala 1:200</b>

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

# **1 Descrizione dell'intervento**

## ***1.1 Descrizione modifica ed obiettivi dell'intervento***

Il progetto prevede alcuni interventi su parti dell'impianto filoviario esistente (pali usurati, ganci vecchi, parti della rete di sospensione) per aumentare la funzionalità e migliorare la percorribilità dell'impianto, in previsione dell'utilizzo di veicoli da 18 metri.

Prevede, inoltre, il potenziamento della linea interna al deposito di Mazzetta così da consentire la sosta sotto tensione al numero di veicoli filoviari previsto in progetto.

Il progetto prevede, quindi, i seguenti 2 attività:

- la sostituzione di almeno 8 sostegni filoviari dell'impianto esistente il cui stato di conservazione non dà sufficienti garanzie di durata (pali messi in opera nei primi anni '60) e la conseguente modifica della rete di sospensione correlata con quei sostegni;
- la realizzazione di un nuovo tratto di impianti in bifilare interno al sito produttivo in Via Lunigiana 24 (Deposito MAZZETTA), che poi tramite scambio meccanico, si inserisce nella linea filoviario esistente in uscita dal deposito.

Nella TAVOLE 2E N. 1 e 2 in ALLEGATO 4 sono illustrati l'impianto esistente con in evidenza i pali da sostituire e il tratto della linea interno al sito produttivo che è interessato dal progetto.

Il tratto di filovia esistente interno al sito produttivo in Via Lunigiana 241 alla SPEZIA costituito da un bifilare per a senso unico di marcia, è sostenuto da sistema a sospensione rigida collegata in parte a sostegni a palo in parte a ganci applicati a muro dell'edificio nel sito tramite resina chimica bicomponente.

La linea esistente attualmente risulta essere utilizzata.

Il nuovo tratto in progetto prevede la realizzazione di un nuovo tratto di bifilare dedicato alla sosta dei veicoli filoviari di notte sotto tensione.

I lavori di realizzazione previsti possono essere immediatamente cantierizzati.

## ***1.2 Tratto di linea filoviarie esistente e di strada interessato dalla modifica***

L'intervento di ampliamento interno al deposito di MAZZETTA è tutto interno al sito e quindi non fa parte dell'impianto filoviario urbano in esercizio di trasporto pubblico.

Nella realizzazione, tuttavia, si seguono le stesse regole e gli stessi criteri di calcolo e di verifica di sostegni e rete di sospensione validi per l'impianto filoviario in esercizio.

Il rinnovo dell'impianto esistente, invece, riguarda 10 pali di sostegno collocati su suolo pubblico:

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

- 3 pali di sostegno presenti in Via Parma lato monti tra incrocio con Corso Nazionale (pali n. ....9) e incrocio con Via Forlì;
- 2 pali di sostegno presenti in Via Veneto in corrispondenza di piazza Bayreuth (pali n. ....);
- 2 pali in Via Genova dopo incrocio con Via Monteverdi (palo n. ....);
- 3 pali in Viale San Bartolomeo tra incrocio con Via Tazzoli e con Via Saffi (pali n. ).

I nuovi pali di sostegno sono collocati vicino a quelli esistenti che vanno a sostituire, senza interferire con altri elementi strutturali e/o impiantistici esistenti nell'area.

Nell'area del deposito di Mazzetta il progetto prevede un nuovo tratto di impianto filoviario necessario per movimentare i veicoli filoviario all'interno del sito ma non interessato dal servizio di trasporto pubblico.

Tale tratto, pur realizzato secondo gli stessi criteri del resto dell'impianto, non fa parte dell'impianto sottoposto a nulla osta per la sicurezza in fase di progetto in quanto non soggetto a rilascio di autorizzazione all'esercizio. Non è trattato, quindi, nella presente relazione di progetto.

I tratti di linea su cui è prevista l'INTERVENTO fanno già parte della rete esistente per il Trasporto Pubblico esercita da ATC ESERCIZIO S.p.A., percorso da alcune delle linee e caratterizzato da alcune fermate esistenti sulla rete.

Il progetto non modifica in alcun la posizione delle fermate già esistenti su quel tratto di linea.

In corrispondenza della diverse strade interessate dal progetto, il cui elenco esaustivo è stato indicato in precedenza, sono caratterizzate dalla presenza ai lati di aiuole, marciapiedi, aree pubbliche (giardini e scuole), spazi parzialmente inutilizzati e pubblici che consentono la localizzazione dei pali di sostegno previsti in progetto.

### ***1.3 Tratto di linea filoviarie esistente e di strada interessato dalla modifica***

L'intervento di ampliamento interno al deposito di MAZZETTA è tutto interno al sito e quindi non fa parte dell'impianto filoviario urbano in esercizio di trasporto pubblico.

Nella realizzazione, tuttavia, si seguono le stesse regole e gli stessi criteri di calcolo e di verifica di sostegni e rete di sospensione validi per l'impianto filoviario in esercizio.

Il rinnovo dell'impianto esistente, invece, riguarda 8 pali di sostegno collocati su suolo pubblico:

- 2 pali di sostegno presenti in Via Parma tra incrocio con Corso Nazionale (pali n.....) e incrocio con Via Forlì;

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

- 2 pali di sostegno presenti in Via Veneto in corrispondenza di piazza Bayreuth (pali n. 140 141);
- 2 pali in Via Genova dopo incrocio con Via Monteverdi (palo n. 21 e 22);
- 2 palo in Viale San Bartolomeo tra incrocio con Via Tazzoli e con Via Saffi (pali n. 338 341).

I nuovi pali di sostegno sono collocati vicino a quelli esistenti che vanno a sostituire, senza interferie con altri elementi strutturali e/o impiantistici esistenti nell'area (assenza di interferenze).

Nell'area del deposito di Mazzetta il progetto prevede un nuovo tratto di impianto filoviario necessario per movimentare i veicoli filoviario all'interno del sito ma non interessato dal servizio di trasporto pubblico.

Tale tratto, pur realizzato secondo gli stessi criteri del resto dell'impianto, non fa parte dell'impianto sottoposto a nulla osta per la sicurezza in fase di progetto in quanto non soggetto a rilascio di autorizzazione all'esercizio.

I tratti di linea su cui è prevista l'INTERVENTO fanno già parte della rete esistente per il Trasporto Pubblico esercita da ATC ESERCIZIO S.p.A., percorso da alcune delle linee e caratterizzato da alcune fermate esistenti sulla rete.

Il progetto non modifica in alcun la posizione delle fermate già esistenti su quel tratto di linea.

## **1.4 Descrizione opere architettoniche**

In dettaglio il progetto prevede:

Ampliamento interno al sito in Via Lunigiana 241 (Depositi di MAZZETTA)

- ❖ Installazione di uno scambio meccanico per consentire l'immissione del bifilare aggiuntivo interno al deposito nel bifilare esistente;
- ❖ Fornitura e messa in opera di n. 5 nuovi pali di sostegno, completi di fondazioni, in posizione e di dimensioni idonee per sostenere il nuovo tratto di impianto filoviario da mettere in esercizio;
- ❖ Realizzazione della rete di sospensione rigida della linea idonea al nuovo percorso del filo di lavoro e alla posizione del palo di sostegno sia quelli esistenti sia quelli nuovi;

Rinnovo elementi impianto esistente

- ❖ fornitura e messa in opera di N. 8 nuovi pali di sostegno in sostituzione di n. 10 pali già esistenti, con collocazione vicina ai pali sostituiti, completi di fondazione di dimensione idonea;
- ❖ modifica della rete di sospensione per adattarla alla nuova posizione dei pali;

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

- ❖ taglio ed invio a smaltimento dei 8 pali vecchi sostituiti, con conseguente riempimento del buco di base del palo tagliato.

In allegato alla presente relazione viene fornita una Tabella con “Elenco pali e caratterizzazione” con indicato per ciascun palo dimensioni fondazione (se non staffati a muro) altezza collari tiranti su palo (o collari attacco mensole) e sollecitazione totale su palo.

**La modifiche descritte determinano un tratto di nuovo bifilare di circa 200 metri, ma che non aumento alla lunghezza dell’impianto esistente in quanto è esclusivamente una raddopnon pio di bifilare dove è già presente.**

**Tuttavia il calcolo delle CdT dell’impianto in progetto è svolto nella Relazione tecnica impiantistica allegata alla Relazione Generale, che né è anche parte integrante.**

In corrispondenza del percorso del tratto di linea in progetto sono presenti impianti di servizio sotterranei (ad esempio linee elettriche di distribuzione e di illuminazione pubblica, linea rete gas, linea rete acqua e linee raccolta scarichi acque bianche e/o nere, linee telefoniche e trasmissione dati), dato che l'intervento di ampliamento è inteso al dito produttivo di MAZZETT di proprietà della Stazione Appaltante..

## **2 Caratteristiche tecniche dell’impianto filoviario**

### **2.1 Descrizione componenti**

La caratteristiche tecniche specifiche di questo nuovo tratto d’impianto filoviario sono analoghe a quella della linea già esistente in esercizio.

Nell’elaborazione del progetto sono state seguiti alcuni indirizzi generali, dovuti alle particolari caratteristiche del percorso stradale interessato dalla nuova linea filoviaria, che qui si elencano in sintesi:

- limitazione, dove possibile, dell’uso di pali di sostegno, data la generale esiguità degli spazi disponibili e liberi lungo le strade percorse, con conseguente utilizzo nei tratti in rettilineo di mensole di sostegno della linea;
- elaborazione del progetto prevedendo l’altezza del filo di contatto uguale a 6 metri rispetto al piano stradale.

La linea filoviaria ha tensione nominale non superiore a 750 V ed è posta ad un’altezza massima di 6,00 metri sul piano strada.

L’intervento non prevede modifiche ai conduttori di linea, che restano della tipologia già in opera nella maggior parte dell’impianto filoviario: filo di contatto in rame sagomato della sezione di 100 mmq.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

Il conduttore viene posizionato ad un'altezza in corrispondenza delle sospensioni non inferiore a 5,20 metri e non superiore a 6,20 metri.

Nel nuovo tratto interno al sito di Via Lunigiana 241 la sospensione del singolo bifilare di contatto è realizzata tramite sospensione in filo sintetico che sostiene il filo di lavoro tramite sospensioni e relative griffe sia da curva che da rettilineo; la rete di sospensione viene sorretta dai sostegni a palo e dai ganci a muro.

La rete di sospensione è del tipo a sospensione rigida, come quella già esistente, con trasversali e poligonali in fune sintetica tipo parafil, e caratteristiche di resistenza idonee per tiro e proprietà isolanti.

In rettilineo i trasversali di sostegno consecutivi hanno una distanza massima di 25 metri.

I pali di sostegno utilizzati sono del tipo tubolare in acciaio senza saldatura zincati a freddo a 3 rastremazioni con protezione della zona d'incastro con fibra poliestere, della dimensioni idonee ai tiri di calcolo determinati nel prosieguo della relazione.

Il materiale di sospensione è del tipo già presente nella linea esistente: sospensioni e griffe da curva per i tratti in curva o dove sono presenti piccole deviazioni correttive della linea anche se il percorso è in rettilineo e, sospensioni e griffe da rettilineo per il percorso con andamento rettilineo.

Nel progetto sono riutilizzati, dove possibile, come sostegni della nuova rete di sospensione i ganci a muro della linea già esistente: nei calcoli di verifica successive tali sostegni sono stati verificati nuovamente considerando le sollecitazioni indotte dalla nuova linea e quelle dovute alla vecchie, rendendo omogenee le ipotesi di calcolo iniziali prese a base della verifica.

La posizione dei pali di sostegno e la rete della sospensione rigida è illustrata nella TAVOLA 2E.1.

La determinazione delle sollecitazioni indotte dalla linea sui trasversali di sostegno della rete di sospensione è determinata nella relazione di calcolo presente nelle successive fasi di progettazione.

I corrispondenti tiri sui pali di sostegno, determinato dal trasferimento delle sollecitazioni di linea dai trasversali attraverso la rete di sospensione ai pali stessi è determinata per ogni curva della linea per via grafica nelle successive fasi di progettazione.

Come riepilogo si elencano i tipi di materiali che sono utilizzati nell'intervento in progetto:

**CONDUTTORI:** conduttore di rame elettrolitico per linee di contatto sagomato per "Trolley" diametro 11.80 mm sezione nominale 100 mm<sup>2</sup> conforme alle norme CEI 50149;

**SOSTEGNI A PALO:** tubolari in acciaio senza saldatura zincati a freddo a 3 rastremature con protezione della zona d'incastro in fibra poliestere del tipo M28 M30 M30C e M32 in conformità al capitolato delle Ferrovie dello Stato spec. CT12 3800/A;

**COLLARI PER PALO FILOVIARIO:** collari in acciaio zincato tipo Fe 430 di dimensioni 50x4 e 50x6 di diametro di dimensioni adatte al palo cui sono collegati (diametri a disposizione 130 – 160 – 215

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

– 250 – 290 mm) o con ancoraggio di filo sintetico idoneo per palo in acciaio inox e banditi dimensioni 19x1 per collegamento a palo;

FUNI DI SOSTEGNO: isolanti in materiale sintetico "Parafil" norme UNIFER CEI - UNEL 79825 da 2 e 3,5 tonnellate (esempio prodotto da ditta SIC ITALIANA CAVI o prodotto equivalente);

TERMINALI: in Acciaio Inox ad inserto conico tipo P da 3,5 e 2 tonnellate e tipo F da 3,5 e 2 tonnellate prodotti dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC rispettivamente 101 e 102 o prodotto equivalente;

SOSPENSIONI E GRIFFE IN CURVA: per i punti del filo di lavoro con deviazione di linea vengono usate sospensioni ad occhiolo in acciaio inox, complete di viterie inox, prodotte dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC 278 e griffe elastiche per curva 1600 mm per filo di contatto sagomato in acciaio inox complete di viteria in acciaio inox prodotte dalla CARIBONI disegno 09487/D o prodotto equivalente;

SOSPENSIONI E GRIFFE IN RETTILINEO: per i punti del filo di lavoro in rettilineo vengono usate sospensioni in vetronite per parafil da 2 tonnellate e 3,5 tonnellate, complete di rondelle e viti in acciaio inox, prodotte dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC 201/A e griffe per filo di contatto sagomato in CUPRUMLEGA, complete di viterie in acciaio inox, prodotte dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC 311 o prodotti equivalenti;

DISTANZIATORI ISOLANTI: distanziatori rigidi isolanti per i punti con deviazione di linea in vetroresina, completi di spina e piastrina in acciaio inox, prodotti dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC 278 o prodotto equivalente;

ANELLI DI POLIGONAZIONE: in Acciaio Inox 114x10 e 80x10 prodotti dalla ditta SIC ITALIANA CAVI su disegno SIC 237 o prodotti equivalenti;

GIUNTI DI PIENA TRAZIONE: giunti a vite per filo sagomato da 100 mmq in lega di rame completo di viti in acciaio sagomato;

BLOCCO DI FONDAZIONE: blocco di fondazione per palo di sostegno a forma di plinti incassato nel terreno in conglomerato cementizio con Rck  $\geq$  250 Kg/cm<sup>2</sup>, completo di tubo in cemento vibrato diametro 50 cm per formazione alloggiamento pali di sostegno;

COLLARE ANCORAGGIO PALO VERTICALE A MURO: collare per attacchi del palo verticale a muro in acciaio zincato con tensione di snervamento caratteristica  $f_y \geq$  265 N/mm<sup>2</sup> (collari prodotti dalla ditta CARIBONI ed illustrati nel disegno NR 58703 serie FS del 30/04/2005 o prodotto equivalente);

SOSTEGNI A MURO PER ANCORAGGIO PALO: attacco applicati su supporto pieno (calcestruzzo non fessurato, lontani da angoli e spigoli) con barra filettata M24 in acciaio inox A<sub>2</sub>-70, assimilabile per caratteristiche meccaniche ad acciaio di classe 8.8, completa di bulloneria in acciaio inox A<sub>2</sub>-70, messa in opera su foro pulito di opportuna profondità ed ancorata con



**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

ancorante chimico bicomponente in resina per carichi pesanti prodotta dalla fischer italia tipo UPM 44 da 360 ml o prodotto equivalente;

MENSOLE TUBOLARI DI SOSTEGNO: mensole tubolari di sostegno in acciaio inox zincate dimensioni 76x8x7850 [mm] e 76x8x6350 [mm] o in vetroresina come da disegno riportato in TAVOLA 18 completi di attacchi rinforzati per mensola da 76 mm a palo diametro 215 160 e 130 e attacchi tiranti a mensola diametro 76 mm.

In ALLEGATO A alla Relazione Introduttiva al progetto sono riportate schede e disegni tecnici dei materiali utilizzati, comprensivi in particolare delle tabelle CEI UNEL 79825 relative alle caratteristiche tecniche delle funi in materiale sintetico e delle specifiche dei pali di sostegno.

## **2 Determinazione delle sollecitazioni e calcoli di verifica**

### **2.1 Premessa**

La determinazione delle sollecitazioni ed i calcoli di verifica sono condotti in base alle norme CEI EN 50119 classificazione 9-2 e successive modificazioni ed integrazioni (in particolare variante A1 del 11/2014) per l'esecuzione delle linee elettriche di contatto.

In particolare, conformemente al quanto prescritto dalla norme sopra menzionate, la presente relazione illustrerà:

- ☐ La determinazione delle sollecitazioni ed i calcoli di verifica sui pali di sostegno;
- ☐ La determinazione delle sollecitazioni ed i calcoli di verifica dei blocchi di fondazione;
- ☐ La determinazione delle sollecitazioni ed i calcoli di verifica nei tiranti trasversali.

### **2.2 Determinazione delle sollecitazione ed i calcoli di verifica sui pali di sostegno**

L'obiettivo è di determinare i momenti flettenti in ogni sezione dei pali di sostegno conseguenti alle forze applicate sulla base delle condizioni di carico più gravose previste dalle norme CEI 9-2.

Nel calcolo si considerano alcune ipotesi semplificative, evidenziate opportunamente nei seguenti paragrafi, che tuttavia vanno sempre verso condizioni di sicurezza maggiore.

Le sollecitazioni determinate sono utilizzate come elementi in ingresso per i calcoli di verifica che documentano che tali sollecitazioni siano contenute nei limiti stabiliti dalle norme stesse e nei limiti di resistenza dei pali fornite dalla casa costruttrice presenti nelle schede tecniche dell'ALLEGATO A.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

Il nuovo impianto utilizza sia pali nuovi che pali già esistenti dell'impianto filoviario urbano (nella Tabelle "Elenco pali e caratterizzazione" riportata alla fine della relazione sono indicati tutti i pali interessati dal progetto).

## **2.2.1 Quote punti d'applicazione sollecitazioni sui sostegni rispetto ad incastri**

### **2.2.1.1 Quota punti applicazione sollecitazioni pali con fondazione**

La quota di posizionamento dei collari cui sono ancorati i trasversali che sostengono le linee sono calcolati in modo da garantire in ogni condizione di esercizio la sopraelevazione minima dei conduttori del piano stradale di 4.70 m.

Ai 4.70 metri di altezza del filo di lavoro si aggiungono 30 cm dovuti al massimo abbassamento dello stesso dovuto alla sua dilatazione termica e 10 cm che è l'altezza media dei marciapiedi su cui sono posizionati i pali rispetto al piano stradale.

**A questi 5.10 metri si deve aggiungere la sopraelevazione dovuta all'inclinazione max del tirante trasversale che converge su palo dal punto di sospensione o dal nodo di sospensione, dipendente dalla distanza del palo da questo punto o nodo e che varia tra il 6% ed il 12% a seconda del valore di tale distanza.**

Questa quota minima è quella di calcolo idonea a determinare l'altezza del punto di applicazione della sollecitazione sul palo rispetto all'incastro nella fondazione, elemento essenziale nella determinazione del momento agente sul palo stesso: in fase esecutiva, tuttavia, l'altezza della linea filoviaria potrebbe risultare maggiore rispetto a tale valore mentre l'altezza di applicazione del collare su ogni palo è sempre quella di progetto.

Queste ipotesi generali non sono valide per alcuni pali le cui localizzazioni determinano delle variazioni della quota collare per diverse ragioni (plinto di fondazione fuori terra, localizzazione in area quota inferiore o superiore al piano stradale dove presente la linea di progetto, ecc.) che saranno precisate in ogni caso.

**Per semplificare i calcoli a favore della sicurezza si considera nei calcoli di questa sopraelevazione la distanza maggiore nodo-palo tra quelle dei tiranti che convergono sul palo e nelle schede di verifica dei pali si ipotizza l'intera risultante applicata a tale quota (vedi ALLEGATO 2), salvo che in alcuni casi in cui date le sollecitazioni indotte sul palo vengano considerate le altezze e gli sforzi di ogni collare.**

Le quote di installazione di ogni collare su ciascun palo sono indicate in dettaglio nella Tabella "Elenco pali e caratterizzazione" già citata e riportata in allegato alla fine della relazione. Nella

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

stessa Tabella sono indicate anche le sollecitazioni determinate per via grafica e per calcolo applicate al palo in corrispondenza di ogni collare.

Nel presente paragrafo, quindi, si rimanda alla Tabella senza indicare esplicitamente le altezze dei collari su ogni palo.

## **2.2.2 Sollecitazioni indotte dalla linea**

Sono qui di seguito considerati tutti le sollecitazioni indotte dalla linea filoviaria che poi attraverso la rete di sospensione sono trasferite sui pali di sostegni.

**M<sub>1</sub> - sollecitazione dovuta al peso della linea, all'azione del vento sui conduttori e all'eventuale presenza di un manicotto di ghiaccio, calcolati in base a quanto disposto dalle norme CEI EN 50119 classificazione 9-2.**

### **1° IPOTESI DI CARICO**

**Tutte le funi integre ad una temperatura di -5 °C e con vento orizzontale normale alla linea che spira ad una velocità di 130 Km/h.**

Dati:

Lunghezza campata tra 2 trasversali consecutivi:	L metri
Numero cavi filo di lavoro sostenuti dal trasversale:	N
Diametro conduttori:	$\delta = 11,8 \text{ mm}$
Peso conduttori:	$p_c = 0,890 \text{ Kg/m}$
Velocità del vento:	$v = 130 \text{ Km/h}$

La pressione esercitata dal vento vale (riferita alla sezione assiale) sulla base della Tabella riportata nella CEI 9-2:

$$p_v = 72 \text{ Kg/m}^2$$

da cui una forza per unità di lunghezza di filo

$$f_v = p_v \cdot 1 \cdot \delta / 1000 = 0,850 \text{ Kg/m}$$

Il carico dovuto al peso dei conduttori è:

$$p_c = 0,890 \text{ Kg/m}$$

Carico verticale totale applicato:

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

$$P_{n'} = p_c * N * L$$

Carico orizzontale totale applicato:

$$P_{0'} = f_v * N * L$$

La componente orizzontale su ciascun tirante di sostegno per effetto del peso della linea risulta:

$$P_{0''} = P_{n'} / (2 * \operatorname{tg} \beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) } 0.13264 \text{ radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^1.$$

La sollecitazione risultante orizzontale presente nel trasversale per effetto di queste ipotesi di carico in rettilineo risulta quindi:

$$F = P_{0'} + P_{0''}$$

Si calcola un tratto in rettilineo a doppio bifilare:

$$N = 4$$

e si considera la lunghezza massima tra i due trasversali campata uguale a 25 metri

L = 25 mt si ha

$$P_{n'} = 0.890 * 4 * (25 / 2 + 25 / 2) = 89.0 \text{ Kg}$$

$$P_{0'} = 0.850 * 4 * (25 / 2 + 25 / 2) = 85.0 \text{ Kg}$$

$$P_{0''} = P_{n'} / (2 * \operatorname{tg} \beta) = 370.8 \text{ Kg}$$

$$F = P_{0'} + P_{0''} = \mathbf{455,8 \text{ Kg}}$$

**Si considera, ora, una seconda ipotesi di carico:**

**II° IPOTESI DI CARICO**

**Tutte le funi integre nelle condizioni di temperatura e di carico previste per la zona B con vento orizzontale normale alle linea spirante a 65 Km/h.**

Dati:

Lungh. max campata:	L
Numero cavi filo di lavoro sostenuti dal trasversale:	N

<sup>1</sup> Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

Diametro conduttori:	$\delta = 11,8 \text{ mm}$
Peso conduttori:	$p_c = 0,890 \text{ Kg/m}$
Velocità del vento:	$v = 65 \text{ Km/h}$
Manicotto di ghiaccio:	$s_g = 12 \text{ mm}$

La pressione esercitata dal vento vale (riferita alla sezione assiale) sulla base della Tabella nella CEI 9-2:

$$p_{v''} = 18 \text{ Kg/m}^2$$

da cui una forza per unità di lunghezza di filo con manicotto di ghiaccio

$$f_{v''} = p_{v''} * 1 * (\delta + 2 * s_g) / 1000 = 0,644 \text{ Kg/m}$$

Il carico dovuto al peso dei conduttori è:

$$p_c = 0,890 \text{ Kg/m}$$

Il carico unitario dovuto al peso del ghiaccio:

$$p_g = 0,92 * \Pi * s_g * (s_g + \delta) / 1000 = 0,825 \text{ Kg/m}$$

Carico verticale totale applicato:

$$P_{n'} = (p_c + p_g) * N * L$$

Carico orizzontale totale applicato

$$P_{0'} = f_{v''} * N * L$$

La componente orizzontale su ciascun tirante di sostegno per effetto del peso della linea risulta:

$$P_{0''} = P_{n'} / (2 * \text{tg}\beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^2.$$

La forza risultante al collare risulta quindi:

$$F = P_{0'} + P_{0''}$$

**Anche per questa ipotesi si calcola un tratto in rettilineo a doppio bifilare:**

$$N = 4$$

e si considera la lunghezza massima tra i due trasversali campata uguale a 25 metri

<sup>2</sup> Si considera una pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

L = 25 mt si ha

$$P_{n'} = (0.890 + 0.825) * 4 * (25 / 2 + 25 / 2) = 171,5 \text{ Kg}$$

$$P_{0'} = 0.644 * 4 * (25 / 2 + 25 / 2) = 64.4 \text{ Kg}$$

$$P_{0''} = P_{n'} / (2 * \operatorname{tg} \beta) = 642.7 \text{ Kg}$$

$$F = P_{0'} + P_{0''} = \textcolor{red}{763} \text{ Kg}$$

**Quindi a parità di condizioni della linea l'ipotesi più gravosa risulta essere la II° IPOTESI di carico e quindi gli sforzi dovuti al peso ed all'azione del vento sulla linea di progetto si calcolano sulla base di questa ipotesi.**

**M<sub>4</sub> - momento dovuto alle sollecitazioni nella trasversale dalle deviazioni della linea.**

La linea assume in tal caso l'andamento di una poligonale, e le trasversali ed i tiranti che ne determinano i vertici sono soggetti ad uno sforzo centripeto il cui valore dipende dalla tensione meccanica T dei conduttori e dal valore dell'angolo di deviazione.

$$F = n^{\circ} \text{ conduttori} * 2 * T * \sin(\alpha/2)$$

dove T è il carico massimo di sicurezza che si assume pari ad un terzo del carico di rottura del conduttore e  $\alpha$  è l'angolo di deviazione

$$\sigma_a = 30 / 3 = 10 \text{ Kg/mm}^2$$

considerando di utilizzare il conduttore in filo sagomato di rame elettrolitico sez. 100 mm<sup>2</sup> CNR - CEI UNEL 70611-71 SI HA:

$$T = 10 * 100 = 1000 \text{ kg}$$

**In alcuni casi è stata considerata la sollecitazione reale cui viene tesato il filo di lavoro in rame di 800 kg e non lo sforzo massimo di tendimento di 1000 kg.**

**La sollecitazione, quindi, è trasmessa solo ai tiranti e quindi ai pali di sostegno presenti nella parte esterna della curva.**

**Nella parte interna della curva questa tipologia di sollecitazione non è presente.**

Tale sollecitazione si considera nei tratti in curva che caratterizzano il percorso del filo di lavoro e sono indicati negli elaborati di progetto con il colore verde.

**Riassumendo le sollecitazioni indotte sui trasversali prese in considerazione sono:**

Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

1. per trasversali in rettilineo sollecitazioni M1 indotte dal peso e dal vento sulla linea per quadruplo o doppio o singolo bifilare a seconda dei tratti considerati (IPOTESI II° più gravosa);
2. per trasversali in curva sollecitazioni M1 indotte dal peso e dal vento sulla linea (IPOTESI II° più gravosa) e sollecitazioni M4 indotta dalle deviazioni della linea per doppio o singolo bifilare a seconda del tratto considerato solo per i tiranti esterni alla curva stessa;
3. per trasversali estremi di curva sollecitazioni M1 indotte dal peso e dal vento sulla linea (IPOTESI II° più gravosa) e sollecitazioni M4 indotta dalle deviazioni della linea per doppio o singolo bifilare a seconda del tratto considerato, in quanto sostenenti anche campata linea rettilinea che prosegue dopo il tratto in curva.

Le sollecitazioni indotte dalla linea si trasferiscono attraverso la rete di sospensione ai collari dei pali di sostegno: la determinazione delle forze è illustrata per via grafica nelle TAVOLE utilizzando le tecniche di statica grafica per la composizione vettoriale.

Il momento generato sulle sezioni del sostegno è di tipo triangolare secondo la relazione:

$$M_4 = F \cdot x$$

dove x è la quota corrente di applicazione della forza rispetto alla sezione considerata.

Il calcolo del momento applicato nelle sezioni significative del sostegno è riportato nelle schede di calcolo illustrate al punto 3.2.4 della presente relazione e presenti palo per palo in ALLEGATO 2.

## **2.2.3 Sollecitazioni indotte direttamente sul palo di sostegno**

### **M<sub>3</sub> - momento dovuto all'azione del vento sul sostegno.**

Al fine di semplificare il modello di calcolo si ipotizza che i sostegni abbiano sezione costante uguale alla maggiore in ogni rastremazione trascurando i raccordi a sezione variabile (ipotesi cautelativa).

Si assume come base di calcolo la condizione più onerosa di carico (II° IPOTESI), determinata nelle pagine precedenti per **M<sub>1</sub>**, rappresentata da vento spirante normalmente alla linea a 65 Km/h e manicotto di ghiaccio.

Conformemente al punto 2.4.04 della norme CEI - CNR 9-2, non si considerano le incrostazioni del ghiaccio sul sostegno.

Se d è il diametro alla base, l la lunghezza e h la quota del baricentro della rastremazione rispetto alla sezione d'incastro, si ha:

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

$$F_{vp} = 18 \cdot l \cdot d \text{ [Kg]}$$

dove  $18 \text{ Kg/m}^2$  è la pressione esercitata dal vento su superfici cilindriche, riferita alla sezione assiale, come indicato al punto 2.1.04 delle norme CEI - CNR 9-2.

Il momento rovesciante è di tipo triangolare ed è pari a:

$$M_{vp} = F_{vp} \cdot h$$

Il calcolo del momento applicato nelle sezioni significative del sostegno è riportato nelle schede di calcolo illustrate al punto 3.2.4 della presente relazione e riportate in ALLEGATO 2.

## **2.2.4 Sollecitazioni indotte dai componenti nuovi**

Sono qui di seguito considerati le sollecitazioni indotte dai nuovi componenti installati sull'impianto filoviario in sostituzione di quelli esistenti che poi attraverso la rete di sospensione sono trasferite sui ganci di sostegni, evidenziando se sono presenti sollecitazioni aggiuntive rispetto alla situazione preesistente.

### **S<sub>1</sub> - sollecitazione dovuta ai nuovi scambi elettrici.**

#### **IPOTESI DI CARICO**

**Si considera il peso complessivo dello scambio elettrico così come indicato nelle schede tecniche della ditta produttrice:**

**P<sub>v</sub> = 76 kg** (valore maggiore tra i due scambi TTBSEVL10U-R scambio elettrico da 10° asimmetrico destro di Via San Cipriano).

**Si considera la forza di tensione presente sul filo di lavoro pari alla sollecitazione massima di sicurezza T, pari ad 1/3 del carico di rottura del filo di lavoro:**

T è il carico massimo di sicurezza che si assume pari ad un terzo del carico di rottura del conduttore  
 $\sigma_a = 30 / 3 = 10 \text{ Kg/mm}^2$

considerando di utilizzare il conduttore in filo sagomato di rame elettrolitico sez.  $100 \text{ mm}^2$  CNR - CEI UNEL 70611-71 SI HA:

$$T = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ kg}$$

**Si ipotizza che il peso dello scambio P<sub>v</sub> sia tutto assorbito dalla brandina di sospensione presente su ogni scambio, mentre la sollecitazione T dovuta alla tensione del filo sia assorbita tutta dai 2 ancoraggi dello scambio.**

**Viene trascurata l'azione del vento sullo scambio che è già stata considerata nel calcolo delle sollecitazioni indotte dalla linea a doppio o a singolo bifilare.**



**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

Dati:

Numero cavi filo di lavoro entranti in ogni scambio:	N
Peso scambio elettrico:	Pv = 76 Kg
T tensione in ogni filo di lavoro:	T = 1000 Km
Angolo formato con l'orizzontale dal tirante trasversale al gancio	$\beta = 7,6^\circ$ (12% circa) $\beta = 0.13264$ radianti

Il carico dovuto al peso dello scambio è:

Pv = 76 Kg che si suddivide in 2 parti uguali su ciascun pendino della brandina

$$P_v / 2 = 38 \text{ Kg}$$

La componente orizzontale su ciascun tirante di sostegno per effetto del peso dello scambio risulta:

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \text{tg}\beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) } 0.13264 \text{ radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^2.$$

(tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dalla brandina di sospensione e si suddivide tra i due trasversali che da ogni pendino della brandina vanno ai ganci a muro, come illustrato nella TAVOLA 3)

Carico orizzontale totale applicato dovuto alla tensione presente sui 2 fili di lavoro entranti nello scambio:

$$P_o = N * T \quad \text{(tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dai tiranti di ancoraggio)}$$

Si calcola ora per lo scambio elettrico nuovo:

$$N = 2$$

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \text{tg}\beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) } 0.13264 \text{ radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^3.$$

(tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dalla brandina di sospensione e si suddivide tra i due trasversali che da ogni pendino della brandina vanno ai ganci a muro, come illustrato nella TAVOLA 10 e 11)

**$P_o = 76 / 2 / (2 * \text{tg}\beta) = 155 \text{ Kg}$  sforzo orizzontale su ogni trasversale della brandina (4 trasversali) che viene trasferito ai rispettivi ganci a muro.**

Carico orizzontale totale applicato dovuto alla tensione presente sui 2 fili di lavoro entranti nello scambio:

<sup>2</sup> Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.  
<sup>3</sup> Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

**$P_0 = 2 * 1000 = 2000 \text{ Kg}$  sollecitazione totale assorbita dai 2 ancoraggi dello scambio e poi trasferita ai rispettivi ganci a muro di sostegno.**

**S<sub>2</sub> - sollecitazione dovuta a nuovi scambi meccanici.**

**IPOTESI DI CARICO**

**Si considera il peso complessivo dello scambio meccanico così come indicato nelle schede tecniche della ditta produttrice:**

**P<sub>v</sub> = 68 kg** (valore scambio meccanico TBMSM10 – L scambio meccanico convergente da 10° asimmetrico sinistro di Via XXIV Maggio linea proveniente da Via San Cipriano).

**Si considera la forza di tensione presente sul filo di lavoro pari alla sollecitazione massima di sicurezza T, pari ad 1/3 del carico di rottura del filo di lavoro:**

T è il carico massimo di sicurezza che si assume pari ad un terzo del carico di rottura del conduttore  
 $\sigma_a = 30 / 3 = 10 \text{ Kg/mm}^2$

considerando di utilizzare il conduttore in filo sagomato di rame elettrolitico sez. 100 mm<sup>2</sup> CNR - CEI UNEL 70611-71 SI HA:

$$T = 10 * 100 = 1000 \text{ kg}$$

**Si ipotizza che il peso dello scambio P<sub>v</sub> sia tutto assorbito dalla brandina di sospensione presente su ogni scambio, mentre la sollecitazione T dovuta alla tensione del filo sia assorbita tutta dai 2 ancoraggi dello scambio.**

**Viene trascurata l'azione del vento sullo scambio che è già stata considerata nel calcolo delle sollecitazioni indotte dalla linea a doppio o a singolo bifilare.**

Dati:

Numero cavi filo di lavoro entranti in ogni scambio:	N
Peso scambio meccanico:	P <sub>v</sub> = 68 Kg
T tensione in ogni filo di lavoro:	T = 1000 Km
Angolo formato con l'orizzontale dal tirante trasversale al gancio	$\beta = 7,6^\circ$ (12% circa) $\beta = 0.13264$ radianti

Il carico dovuto al peso dello scambio è:

P<sub>v</sub> = 68 Kg che si suddivide in 2 parti uguali su ciascun pendino della brandina

$$P_v / 2 = 34 \text{ Kg}$$

La componente orizzontale su ciascun tirante di sostegno per effetto del peso dello scambio risulta:

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \operatorname{tg} \beta)$$

dove  $\beta = 7,6^\circ$  (12% circa) 0.13264 radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale<sup>4</sup>.

(tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dalla brandina di sospensione e si suddivide tra i due trasversali che da ogni pendino della brandina vanno ai ganci a muro, come illustrato nella TAVOLA 4)

Carico orizzontale totale applicato dovuto alla tensione presente sui 2 fili di lavoro entranti nello scambio:

$$P_o = N * T \quad (\text{tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dai tiranti di ancoraggio})$$

Si calcola ora per lo scambio meccanico nuovo:

$$N = 2$$

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \operatorname{tg} \beta)$$

dove  $\beta = 7,6^\circ$  (12% circa) 0.13264 radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale<sup>5</sup>.

(tale sollecitazione si suppone assorbita interamente dalla brandina di sospensione e si suddivide tra i due trasversali che da ogni pendino della brandina vanno ai ganci a muro, come illustrato nella TAVOLA 4)

**$P_o = 68 / 2 / (2 * \operatorname{tg} \beta) = 138 \text{ Kg}$  sforzo orizzontale su ogni trasversale della brandina (4 trasversali) che viene trasferito ai rispettivi ganci a muro.**

Carico orizzontale totale applicato dovuto alla tensione presente sui 2 fili di lavoro entranti nello scambio:

**$P_o = 2 * 1000 = 2000 \text{ Kg}$  sollecitazione totale assorbita dai 2 ancoraggi dello scambio e poi trasferita ai rispettivi ganci a muro di sostegno.**

**Le sollecitazioni indotte si trasferiscono attraverso la rete di sospensione ai ganci a muro di sostegno: la determinazione delle forze è illustrata per via grafia nelle TAVOLE di progetto utilizzando le tecniche di statica grafia per la composizione vettoriale.**

## 2.2.5 Calcoli di verifica

Le schede di calcolo da elaborare nel progetto esecutivo devono riportare per ciascun sostegno da installare il calcolo dei momenti massimi ammissibili nelle sezioni significative del sostegno, valutato in base ai dati forniti dal costruttore (nell'ALLEGATO A della Relazione Introduttiva sono riportate le copie delle caratteristiche di resistenza delle diverse tipologie di pali elaborate dalle ditte produttrici), tale momento è messo a confronto con il momento massimo applicato, calcolato in funzione della

<sup>4</sup> Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

<sup>5</sup> Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

somma delle sollecitazioni indotte sul palo e illustrate nei paragrafi 3.2.2 e 3.2.3 e della quota di applicazione indicata nel paragrafo 3.2.1.

La verifica che in tutte le sezioni non venga superato il carico massimo ammissibile, si effettua per confronto del momento massimo applicato e della tensione ammissibile.

Ad ogni sezione del palo corrisponde, infatti, un momento massimo ammissibile  $Q$  che è funzione del modulo di resistenza e della tensione ammissibile.

In particolare il momento massimo ammissibile è così calcolato:

se  $d$  è il diametro della sezione,  $s$  lo spessore della corona circolare, si ha:

$$W = [0,098 * d - (d - 2 * s)] / d \quad [mm^2]$$

N.B. i valori di  $W$  sono forniti nelle specifiche dei sostegni fornite dalle ditte produttrici dei pali di sostegno.

$$\sigma_{amm} = 60 / 3 = 20 \text{ Kg/mm}^2$$

$$Q = W * \sigma_{amm}$$

**Le caratteristiche di resistenza dei pali esistenti utilizzati nel progetto (vedi Tabella “Elenco pali e caratterizzazione” in fondo alla relazione) sono ricavate dalle schede tecniche relative all’impianto filoviario esistente che fornivano:**

- 1. codifica del palo esistente che ne identificava la tipologia di palo installato e le dimensioni della fondazione;**
- 2. dimensioni di ogni tipologia di palo: lunghezza diametro e spessore di ogni rastremazione;**
- 3. dimensioni di ogni tipologia di fondazione.**

## ***2.3 Calcolo dei blocchi di fondazione***

### **2.3.1 Tipologia fondazioni**

Nella Tabella “Elenco pali e caratterizzazione” è fornito l’elenco di tutti i pali di progetto comprensivo delle dimensioni del rispettivo blocco di fondazione.

Tutti i sostegni a palo di progetto sono posati su plinto in CIs non rastremato incassato nel terreno.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

I plinti sono blocchi di fondazione parallelepipedi a sezione di base quadrata senza risega e di profondità variabile in funzione delle caratteristiche del sostegno; sono realizzati in calcestruzzo Rbk 250.

## 2.3.2 Modello di calcolo fondazioni

La verifica di stabilità delle fondazioni è eseguita in base ai criteri riportati nella norma CEI 9-2 e nella norma CEI EN 50199.

Il momento rovesciante allo spigolo inferiore del blocco  $M_r$  è dato da:

$M_r = F \cdot (h+c)$       dove  $h$  è la lunghezza della parte del sostegno fuori terra e  $c$  è la profondità del blocco ed  $F$  è la risultante delle sollecitazioni agenti sul palo fuori terra.

Il momento stabilizzante è dato da:

$M_s = (C \cdot b \cdot c^3) + (0,85 \cdot Pa / 2)$       dove.

- a lato della base del blocco non intersecato dalla proiezione verticale della risultante di tutte le forze applicate sul palo di sostegno
- b lato della base del blocco intersecato dalla proiezione verticale della risultante di tutte le forze applicate sul palo di sostegno
- c profondità di interrimento del blocco.

$C$  è un coefficiente specifico per ciascun terreno, crescente con la compattezza del terreno stesso e comunemente compreso fra  $635 \text{ Kg/m}^3$  (terreni incoerenti) e  $1100 \text{ Kg/m}^3$  (terreni molto compatti quali quelli dei rilevati stradali).

Nel caso specifico:

- a) se il terreno interessato sia nella sede stradale già esistente o su un marciapiede, dato che ha già subito un consolidamento per lungo periodo, è stato utilizzato nelle sedi stradali e non è soggetto a scorrere per azione dell'acqua (norma CEI 9-2) si è adottato un valore di calcolo uguale al massimo ammissibile di  $1100 \text{ Kg/m}^3$ ;
- b) se il terreno interessato fa parte di un'aiuola o di una scarpata di terreno incolto e, pur non essendo già costipato per azione di carichi stradali è comunque già consolidato per la lunga permanenza in quel sito e non è soggetto a scorrere per l'azione dell'acqua (norma CEI 9-2) si è adottato un valore intermedio pari a  $850 \text{ kg/m}^3$ .
- c) Nel calcolo del momento stabilizzante è stato considerato anche l'effetto verticale trasmesso dal sostegno incluso il peso effettivo del sostegno (norma CEI EN 50119).

Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)

1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)

**Il momento ribaltante non deve superare l'85% del momento stabilizzante (punto 6.15.2 norma CEI EN 50119:2002-01) ovvero un rapporto in percentuale**

$$\frac{M_r \text{ (momento ribaltante)}}{M_s \text{ (momento stabilizzante)}} * 100 \leq 85$$

**e quindi si considera un coefficiente di sicurezza pari a 1,176 e quindi la verifica viene soddisfatta se  $M_s / M_r \geq 1.176$ .**

Le dimensioni dei blocchi, calcolate con i criteri sopra indicati, ed i calcoli di verifica sono riportati nelle schede di calcolo da elaborare nel progetto esecutivo.

## ***2.4 Calcolo delle sollecitazioni nei tiranti trasversali***

I tiranti trasversali utilizzati sono da 3500 Kg quelli presenti nella parte esterna-curva ad inizio e fine curva e sulla spina della curva centrale della rotatoria e delle 2 curve in ingresso alla rotatoria, ed il resto da 2000 Kg (vedi schede in ALLEGATO 1).

Dalle sollecitazioni previste in progetto e dai conseguenti sforzi trasferiti dalla linea di contatto alla rete di sospensione, determinati per via grafica nella tavole progettuali, sono previste delle sollecitazioni nei tiranti sempre inferiori a 2000 Kg, con conseguente rispetto degli sforzi massimi ammissibili su di essi.

Lo sforzo orizzontale massimo trasmesso da un tirante risulta essere infatti (vada TAVOLA 5):

**Smax (tirante ancoraggio scambio meccanico interno a deposito MAZZETTA) =**

**1000 Kg < 2000 kg.**

## ***2.5 Calcolo di verifica degli ancoraggi a muro***

### **2.5.1 Descrizione ancoraggi a muro**

L'INTERVENTO 2E non comporta la realizzazione di nuovi ancoraggi a muro.

## **3 Elaborati grafici**

Negli elaborati grafici di progetto riportati in ALLEGATO 6, sono indicati la posizione dei pali e dei ganci di sostegno della linea aerea ed i tiranti necessari per sostenere il carico da un punto di vista statico.

**Intervento per la realizzazione di nuove linee filoviarie e estensione di linee esistenti per il potenziamento del servizio nel Comune della SPEZIA, in attuazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (C.U.P.: G47C20000100001)**

**1.2.a – FILOVIA (C.U.P.:D47J18000290001)**

In fase realizzativa sono, tuttavia, installati altri tiranti, non strettamente indispensabili a garantire la statica del sistema ma aventi funzione di "sicurezza", e cioè destinati ad impedire che la linea aerea cada nel caso di rottura accidentale di un tirante di carico.

Occorre, inoltre, precisare che la posizione dei ganci e dei pali, indicata negli elaborati grafici, potrebbe subire lievi modifiche qualora, in fase realizzativa, si rilevasse la presenza di manufatti che impediscono la messa in opera dell'elemento progettuale (ad esempio linee elettriche, tubazioni, finestre, ecc.); nel caso, tuttavia, le modifiche influenzino in modo significativo le sollecitazioni indotte sui sostegni si procederà ad una revisione completa del progetto.