

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 2B
Relazione tecnica**

**Ampliamento impianto filoviario Via Antoniana Via
Fontevivo**

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

1 DESCRIZIONE MODIFICA ED OBIETTIVI DELL'INTERVENTO	4
2 TRATTO DI LINEA FILOVIARIE ESISTENTE E DI STRADA INTERESSATO DALLA MODIFICA..4	
3 DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO E DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI ADOTTATE	5
3.1 PREMESSA	5
3.2 DESCRIZIONE INTERVENTO	5
3.3 DESCRIZIONE TRATTO INTERESSATO DALL'AMPLIAMENTO DELL'IMPIANTO FILOVIARIO	5
4 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'IMPIANTO FILOVIARIO	6
5 DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI E CALCOLI DI VERIFICA	11
5.1 PREMESSA	13
5.2 DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONE ED I CALCOLI DI VERIFICA SUI PALI DI SOSTEGNO	13
5.2.1 Quote punti d'applicazione sollecitazioni sui sostegni rispetto ad incastri	13
5.2.2 Sollecitazioni indotte dalla linea	14
5.2.3 Sollecitazioni indotte direttamente sul palo di sostegno	19
5.2.4 Calcoli di verifica	19
5.3 CALCOLO DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE	24
5.3.1 Tipologia fondazioni	24
5.3.2 Modello di calcolo fondazioni	24
5.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI NEI TIRANTI TRASVERSALI	25
5.5 CALCOLO DI VERIFICA DEGLI ANCORAGGI A MURO	25
5.5.1 Descrizione ancoraggi a muro	25
5.5.2 Calcoli di verifica	26
6 ELABORATI GRAFICI	27

ALLEGATI:

ALLEGATO 2 Elenco pali e caratterizzazione

ALLEGATO 3 Elenco ganci e caratterizzazione

ALLEGATO:

Elaborati grafici ampliamento filoviario:

2C - TAVOLA 2C.1	Stato di Fatto	scala 1:1000
2C - TAVOLA 2C.2	Stato di Progetto	scala 1:1000
2C - TAVOLA 2C.3	Particolare Curva A	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.4	Particolare Curva B	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.5	Particolare Curva C D	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.6	Particolare Curve E F	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.7	Particolare Curve G H I	scala 1:100

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)

2C - TAVOLA 2C.8	Particolare Curve L M N O P	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.9	Particolare Curve Q R S T	scala 1:100
2C - TAVOLA 2C.10	Particolare scambio meccanico	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.11	Particolare scambio elettrico	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.12	SEZIONE AA e INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.13	SEZIONE BB e INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.14	SEZIONE CC e INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.15	SEZIONE DD e INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.16	SEZIONE EE e INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.17	INTERFERENZE	scala indicate nel disegno
2C - TAVOLA 2C.18	PUNTI DI RIPRESA FOTOGRAFICI	scala 1:1000

ALLEGATO 5 FOTO

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 modifica ed obiettivi dell'intervento

L'impianto di nuova realizzazione interessa la linea di trasporto pubblico urbana N° 12 che collega i quartiere di Pegazzano, nella Zona Nord-Ovest della città, con il quartiere del Favaro, nella zona Nord-Est, attraversando l'intero Centro urbano della Spezia.

Attualmente il percorso della linea è già dotato di impianto filoviario fino all'incrocio tra Via XXIV Maggio e Via Doria.

Il progetto prevede la filoviarizzazione di un nuovo tratto di Linea dall'incrocio citato a la fermate Bivio Vailunga in Via Fontevivo, in modo da raggiungere più del 70% di lunghezza della Linea dotato di impianto filoviario.

Nella TAVOLA 2C.1 è illustrato l'attuale tratto della linea filoviarie esistente lungo la Linea 12 interessata dal progetto, mentre nella TAVOLA 2C.2 è indicato il nuovo tratto filoviario.

In corrispondenza di Via XXIV Maggio e Via Veneto è già presente l'impianto della linea filoviarie:

- la linea percorre Via XXIV Maggio in un senso e Via Veneto nell'altro senso (verso centro città).

Il tratto di linea filoviarie esistente è stata realizzata in data anteriore agli anni '80, con progetto interno dell'allora società gestore del servizio filoviario.

Il tratto di filovia esistente, un bifilare per ogni senso di marcia, è sostenuto da sistema a sospensione rigida collegata in parte a sostegni a palo in parte a ganci applicati a muro tramite resina chimica bicomponente.

La linea esistente attualmente risulta essere utilizzata.

2 Tratto di linea filoviarie esistente e di strada interessato dalla modifica

Il nuovo percorso da filoviarizzare in progetto prevede:

- 1) dall'impianto esistente in Via XXIV Maggio in corrispondenza dell'incrocio con Via Doria, tramite scambio elettrico, la svolta della linea in singolo bifilare in Via Doria;
- 2) il tratto in rettilineo di Via Doria fino ad incrocio con Via Veneto sempre con linea in singolo bifilare;
- 3) la svolta da Via Doria a Via Veneto in singolo bifilare ed l'immissione nell'impianto esistente in Via Veneto con scambio meccanico;
- 4) il tratto in rettilineo di Via Veneto sempre con linea in singolo bifilare fino ad incrocio con Via Antoniana;
- 5) la svolta da Via Veneto a Via Antoniana, tramite scambio elettrico, in singolo bifilare in direzione Favaro e con scambio meccanico in direzione Centro città con l'immissione del nuovo impianto nell'impianto esistente;
- 6) il tratto in rettilineo da incrocio Via Veneto Via Antoniana fino alla rotatoria con Via Fontevivo con linea in doppio bifilare;
- 7) Il tratto in parte rettilineo ed in parte in curva lungo Via Antoniana e quindi Via Pertini, che porta fino al centro Commerciale delle TERRAZZE, passano sotto la linea ferroviaria, con linea a doppio 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)

- 8) Il tratto in rettilineo lungo Via Fontevivo fino ad incrocio con Via Vailunga, in doppio bifilare, dove l'impianto termina.

La linea 12 interessata dal progetto è già attualmente in esercizio, se pur con veicoli ad alimentazione tradizione: la posizione delle attuali fermate presenti sul percorso non vengono in alcun modo cambiata dal progetto.

Nelle TAVOLA 2C.2 è rappresentata una planimetria in scala 1:1000 del nuovo tratto di linea filoviario urbana in progetto.

3 Descrizione delle opere architettoniche

3.1 Premessa

L'attuale livello di progettazione definitiva ha definito le soluzioni tecniche progettuali adottate per la realizzazione del progetto e per il superamento di alcuni punti di criticità visibilmente presenti, verificando in dettaglio la loro realizzabilità.

A questo livello di progettazione si è provveduto ad eseguire il calcolo di verifica dei sostegni della rete di sospensione del nuovo impianto filoviario (pali di sostegno, ganci a muro).

Tuttavia il presente Progetto Definitivo deve essere ancora sottoposto agli Enti di gestione del territorio ed agli Enti di gestione delle reti di servizi presenti nell'area per ottenere il titolo abilitativo edilizio alla realizzazione.

Tale fase, successiva all'approvazione e validazione del Progetto Definitivo, deve essere gestita tramite opportuna procedura di autorizzazione (preferibilmente tramite Conferenza dei Servizi) secondo i regolamenti comunali vigenti, e potrebbe portare a successive modifiche al progetto emesso.

3.2 Descrizione intervento

I lavori di realizzazione del nuovo tratto di impianto filoviario può essere immediatamente cantierizzato (del fatto si tiene conto al momento dell'elaborazione del cronoprogramma dei lavori).

Le fermate della linea 12 non subiscono variazioni rispetto alla posizione attuale.

Il percorso dell'impianto filoviario in progetto, quindi, coincide con il tratto di linea in esercizio fino a alla fermate Bivio Vailunga. Da lì viene percorsa il resto della linea fino al capolinea del quartiere del Favaro (vedi TAVOLA 0.2) senza impianto filoviario.

Il tratto di Via Doria e Via Veneto interessato dal progetto è caratterizzato dalla presenza su entrambi i lati di edifici privati con un marciapiede di dimensioni non ampie (larghezza variabile da 150 a 110 cm).

Nel tratto restante di Via Antoniana Via Pertini e Via Fontevivo la strada è caratterizzato dalla presenza su entrambi i lati di spazi pubblici e privati (marciapiedi aiuole, spazi verdi) e una serie di lotti di terreno privati, in parte edificati in parte no.

In corrispondenza di Via Pertini prima del Centro commerciale LE TERRAZZE è presente l'attraversamento del torrente Cappelletto.

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 percorso stradale interessato dal progetto, descritto sommariamente, è, quindi, caratterizzato da alcuni aspetti peculiari che sono rilevanti per le soluzioni progettuali adottate per il nuovo impianto:

- nel tratto iniziale di via Doria e Via Veneto sono presenti marciapiedi e edifici che consentono la realizzazione di sostegni sia a palo che a gancio a muro della rete di sospensione;
- nel resto del percorso sono presenti spazi ai lati della carreggiata stradale che consentono la realizzazione di sostegni a palo ed edifici e muri che consentono in modo più limitato la realizzazione di sostegni a muro;
- il tratto finale dell'impianto in via Fontevivo è caratterizzato dall'assenza sul lato destro della carreggiata (in direzione Favaro) di marciapiede poiché la strada confina con l'area disponibile per la linea ferroviaria.

Sul percorso sono presente alcuni impianti di servizio:

- ☐ Linea elettrica interrata di illuminazione pubblica su pali lungo quasi intero percorso;
- ☐ Linea elettrica in media tensione che corre sottostrada in Via Antoniana nella rotatoria dell'incrocio con Via del Cappelletto e sotto il marciapiede lato monti di Via Fontevivo;
- ☐ Linea di adduzione gas metano che corre sottostrada in Via Antoniana ed in Via Fontevivo;
- ☐ Linea di acqua potabile che corre sottostrada in Via Antoniana ed in Via Fontevivo;
- ☐ Linea di raccolta acque meteoriche che corre sottostrada lungo tutto il percorso dell'impianto;
- ☐ Linea di raccolta e adduzione reflui fognari che corre sottostrada in Via Antoniana ed in Via Fontevivo.

La presenza di questi sottoservizi nei tratti di strada interessati dal progetto sono elementi essenziali da tenere presente nel corso della procedura di autorizzazione alla realizzazione dell'impianto condotta tramite Conferenza dei Servizi.

3.3 Descrizione tratto interessato dall'ampliamento dell'impianto filoviario e interventi necessari

Nel corso della realizzazione del progetto risulta necessario effettuare i seguenti interventi.

Nel tratto in prima in rettilineo e poi curva da Via XXIV Maggio a Via Doria:

- Installazione di uno scambio elettrico per consentire la curva da Via XXIV Maggio a Via Doria in uscita dall'impianto esistente che prosegue dritto in Via XXIV Maggio;
- Fornitura e messa in opera di 4 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviaria rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 75 78 nelle TAVOLE 2C.3) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Eliminazione dei ganci a muro esistenti non idonei agli sforzi indotti dalla nuova linea e sostituzione con nuovi ganci a muro collocati in posizione adatte al andamento della nuova linea e di dimensioni conformi

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)

alle sollecitazioni indotte dalla stessa e contemporaneo recupero dei ganci esistenti considerati idonei al progetto, ottenendo l'insieme di ganci a muro;

- Realizzazione della rete di sospensione rigida della linea idonea al nuovo percorso del filo di lavoro in entrambe le direzioni e alla posizione del palo di sostegno e dei ganci a muro di progetto, sia quelli esistenti sia quelli nuovi;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto seguendo il nuovo percorso in curva.

Nel tratto in rettilineo di Via Doria dall'incrocio con Via XXIV Maggio fino ad incrocio con Via Veneto:

- Fornitura e messa in opera di 3 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviaria rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 79 80 81 nelle TAVOLE 2C.3 e 2C.4) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Fornitura e messa in opera di nuovi ganci a muro collocati in posizione adatte all'andamento della nuova linea e di dimensioni conformi alle sollecitazioni indotte dalla stessa, ottenendo l'insieme di ganci a muro;
- Realizzazione della nuova rete di sospensione rigida della linea per adattarla al nuovo percorso del filo di lavoro in entrambe le direzioni, alla posizione dei sostegni a palo, alle mensole ed ai ganci a muro;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto in rettilineo.

Nel tratto prima in curva e poi in rettilineo da Via Doria a Via Veneto fino ad incrocio con Via Antoniana, compresa curva verso Via Antoniana:

- Installazione di un incrocio per consentire al bifilare nuovo proveniente da Via Doria l'attraversamento del bifilare esistente in Via Veneto;
- Sostituzione di n. 6 palo esistente con un palo nuovo nella posizione simile all'esistente (palo identificato al numero 162 163 164 165 167 e 168);
- Riutilizzo del palo esistente identificato al numero 166 nel progetto;
- Fornitura e messa in opera di 7 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviaria rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 82 a 88 nelle TAVOLA 2C.4 e 2C.5) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Installazione di uno scambio meccanico per consentire l'immissione del bifilare nuovo nel bifilare esistente da Via Antoniana in Via Veneto;
- Eliminazione dei ganci a muro esistenti non idonei agli sforzi indotti dalla nuova linea e sostituzione con nuovi ganci a muro collocati in posizione adatte al andamento della nuova linea e di dimensioni conformi

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)

alle sollecitazioni indotte dalla stessa e contemporaneo recupero dei ganci esistenti considerati idonei al progetto, ottenendo l'insieme di ganci a muro;

- Realizzazione della rete di sospensione rigida della linea idonea al nuovo percorso del filo di lavoro in entrambe le direzioni e alla posizione del palo di sostegno e dei ganci a muro di progetto, sia quelli esistenti sia quelli nuovi;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto seguendo il nuovo percorso in curva.

Nel tratto in rettilineo di Via Antoniana dall'incrocio con Via Veneto fino ad incrocio con Via Cappelletto:

- Fornitura e messa in opera di 16 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviarie rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 89 a 104 nelle TAVOLE 2C.5 e 2C.6) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Fornitura e messa in opera di nuovi ganci a muro collocati in posizione adatte all'andamento della nuova linea e di dimensioni conformi alle sollecitazioni indotte dalla stessa, ottenendo l'insieme di ganci a muro;
- Realizzazione della nuova rete di sospensione rigida della linea per adattarla al nuovo percorso del filo di lavoro in entrambe le direzioni, alla posizione dei sostegni a palo, alle mensole ed ai ganci a muro;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto in rettilineo.

Nel tratto in curva intorno alla rotatoria esistente all'incrocio tra Via Antoniana con Via Cappelletto:

- Fornitura e messa in opera di 7 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviarie rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 105 a 111 nelle TAVOLA 2C.6) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Fornitura e messa in opera di nuovi ganci a muro collocati in posizione adatte all'andamento della nuova linea e di dimensioni conformi alle sollecitazioni indotte dalla stessa, ottenendo l'insieme di ganci a muro;
- Realizzazione della nuova rete di sospensione rigida della linea per adattarla al nuovo percorso del filo di lavoro in entrambe le direzioni, alla posizione dei sostegni a palo, alle mensole ed ai ganci a muro;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto in rettilineo.

La presenza del sottopasso ferroviario e la necessità di passarvi sotto con la linea filoviarie impone l'adozione di alcune soluzioni progettuali particolari:

- realizzazione di un isolamento che separi la linea dalla struttura del sottovia con interposizione tra conduttura e intradosso del ponte di una lastra in fibra poliestere di spessore > 1 cm ancorata alla

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)

struttura portante e una canaletta isolante di protezione orizzontale con profilo C anch'essa in fibra poliestere posta sopra le condutture;

- messa in opera di nuove griffe d'ancoraggio (da rettilineo) per filo di lavoro sagomato, che lo collegano all'insieme canale/piastra isolanti, con interposto distanziatore isolante in vetroresina.

Nel tratto in parte rettilineo ed in parte in curva dal sottopasso ferroviario fino alla fermata di Bivio Vailunga in Via Fontevivo lungo le Via Antoniana e Via Pertini il progetto prevede:

- Fornitura e messa in opera di 121 nuovi sostegni filoviarie a palo in posizione adatta al nuovo andamento della linea filoviaria rettilinea in modo da limitare la lunghezza della campata ≤ 25 metri, e di dimensioni conformi ai nuovi sforzi indotti dalla linea stessa, completi di fondazioni (pali identificati con i numeri da 112 a 161 e da 167 a 237 nelle TAVOLE 2C.2 2C.7 2C.8 2C.9) di dimensioni opportune in relazione alle sollecitazioni indotte dalla linea;
- Realizzazione della nuova rete di sospensione rigida della linea per adattarla al nuovo percorso del filo di lavoro nella direzione di percorrenza della Linea, alla posizione dei sostegni a palo, alle mensole ed ai ganci a muro;
- Fornitura e messa in opera del doppio bifilare di contatto in rettilineo e in curva (intorno alle rotatorie esistenti nel percorso)..

La presenza dei vincoli già descritti, ed in particolare della presenza della linea Ferroviaria vicino all'impianto lungo Via Fontevivo, determina che la posizione di alcuni pali di sostegno descritta in questo Studio di Fattibilità potrebbe subire alcune modifiche nella fasi successive della progettazione (definitiva ed esecutiva), con l'adozione di alcune scelte progettuali particolari:

la fondazione di ogni palo di sostegno non deve interferire con i sottoservizi della linea ferroviaria;

i pali di sostegno devono essere sufficientemente lontani dall'armamento aereo della linea ferroviaria;

ogni palo deve distare almeno 50 cm dalla linea che delimita la carreggiata stradale.

Quest'ultimo vincolo determina una criticità nella realizzazione dei pali di sostegno nel tratto iniziale di Via Antoniana lato mare tra incroci con Via Veneto e Via Cappelletto: per semplificare la realizzazione in fase di Conferenza dei Servizi è opportuno richiedere al Comune l'autorizzazione alla realizzazione dei pali all'interno del complesso scolastico ANNA FRANK sul confine con la strada.

Anche il vincolo dovuto alla presenza lungo il percorso di esigui spazi disponibili intorno alla carreggiata stradale (marciapiedi stretti o non presenti) ha determinato l'esigenza di posizionare i pali di sostegno in posizioni particolari (anche distanti dalla linea) e di realizzare fondazioni particolari.

Inoltre la presenza di sottoservizi non modificabili (linea a media tensione ENEL fibra ottica TELECOM, linee Gas acqua potabile e fognatura ACAM) lungo quasi tutto l'intero percorso crea dei vincoli nella scelta della localizzazione dei pali di sostegno e dei corrispondenti plinti di fondazione, viste le conseguenti interferenze che si possono riscontrare nell'esecuzione dei lavori e determina la necessità di verificare puntualmente in

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)

fase di progettazione esecutiva le singole posizioni di ciascun palo di sostegno con la conseguente eventuali modifiche di progetto.

La modifiche descritte determinano un allungamento della linea esistente di circa 1.900 metri.

Il calcolo delle CdT dell'impianto in progetto è svolto nella Relazione tecnica impiantistica allegata alla Relazione Generale, che né è anche parte integrante.

4 Caratteristiche tecniche dell'impianto filoviario

La caratteristiche tecniche specifiche di questo tratto d'impianto filoviario devono rimanere le stesse della linea già esistente in esercizio, con l'utilizzo degli stessi materiali: a progetto finito l'impianto filoviario mantenere caratteristiche omogene.

La linea filoviaria ha tensione nominale pari a 600 Volt in corrente continua 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.

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

La linea è a doppio bifilare in tutto il tratto interessato dall'intervento.

La sospensione del doppio bifilare 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 è 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 un 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.

Nelle pagine seguenti è indicato l'elenco dei pali previsti dal progetto con l'indicazione delle dimensioni della rispettiva fondazione o della staffa a muro di riferimento.

Nell'Allegato 1 sé presente l'elenco dei pali previsti nel progetto e nell'Allegato 2 è presente l'elenco dei ganci a muro previsti dal progetto.

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 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 successivi tali sostegni sono stati verificati nuovamente considerando le sollecitazioni indotte dalla nuova linea e quelle dovute alla vecchia, 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 negli elaborati grafici allegati alla relazione.

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

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 i tratti in curva e per i tratti in rettilineo prima e dopo la curva per via grafica nelle TAVOLE da 2C.3 a 2C.9 allegate alla relazione.

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 mm² 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 – 250 – 290 mm) o con ancoraggio di filo sintetico idoneo per palo in acciaio inox e bandit 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 occhio 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

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)

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/cm², completo di tubo in cemento vibrato diametro 50 cm per formazione alloggio 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/mm² (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 A₂-70, assimilabile per caratteristiche meccaniche ad acciaio di classe 8.8, completa di bulloneria in acciaio inox A₂-70, messa in opera su foro pulito di opportuna profondità ed ancorata con 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 sono riportate schede disegni tecnici e caratteristiche funzionali dei materiali utilizzati di riferimento, che possono essere sostituiti da prodotti equivalenti.

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)

5 Determinazione delle sollecitazioni e calcoli di verifica

5.1 Premessa

La linea aerea è realizzata in conformità alle norme Norma CEI EN 50119, Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica, 2021-01 – CLASSIFICAZIONE 9-2 e successive modificazioni ed integrazioni ed alle norme CEI EN 50122-2:2012-02 Classificazione CEI 9-6 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno, in particolare per quanto attiene a:

- Distanze di sicurezza;
- Distanze di rispetto;
- Altezza del filo di contatto;
- Sostegno del filo di contatto;
- Calcolo delle sollecitazioni sui sostegni a palo;
- Calcolo dei blocchi di fondazione;
- Calcolo del tiro e della freccia del filo di contatto;
- Calcolo delle sollecitazioni nei tiranti trasversali.
- Calcolo delle sollecitazioni sui sostegni a gancio a muro.

5.2 Determinazione delle sollecitazioni 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.

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

5.2.1 Quote punti d'applicazione sollecitazioni sui sostegni rispetto ad incastri

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.

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)

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.

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.

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 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.

5.2.2 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_1 - 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 spirava 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:	$p_c = 0,890 \text{ Kg/m}$

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)

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:

$$P_{n'} = p_c \cdot N \cdot L$$

Carico orizzontale totale applicato:

$$P_{0'} = f_v \cdot N \cdot L$$

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

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

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

$$L = 25 \text{ mt si ha}$$

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

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

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

¹ 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)

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

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
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:

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)

$P_{0''} = P_{n'} / (2 * \operatorname{tg} \beta)$ dove $\beta = 7,6^\circ$ (12% circa) 0.13264 radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale².

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

$$L = 25 \text{ mt si ha}$$

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

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

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

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

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.

Nel presente Progetto Definitivo, pur riportando in ALLEGATO le TAVOLE per la determinazione grafica delle sollecitazioni indotte su ogni palo e su ogni gancio a muro si omette di riportare i calcoli e le schede di verifica di pali e fondazioni, cose che devono essere presenti nella successiva fase di progettazione esecutiva.

M₄ - momento dovuto alle sollecitazioni nella trasversale dalle deviazioni della linea e dallo stato di tensione 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.

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

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

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

² 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)

considerando di utilizzare il conduttore in filo sagomato di rame elettrolitico sez. 100 mm² SI HA:

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

A favore della sicurezza è stato considerato lo sforzo massimo di tendimento di 1000 k e non la sollecitazione reale cui viene tesato il filo di lavoro in rame di 800 kg.

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

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

Nel presente Progetto Definitivo, pur riportando in ALLEGATO le TAVOLE per la determinazione grafica delle sollecitazioni indotte dalla deviazione della linea su ogni palo e su ogni gancio a muro si omette di riportare i calcoli e le schede di verifica di pali e fondazioni, cose che devono essere presenti nella successiva fase di progettazione esecutiva.

Riassumendo le sollecitazioni indotte sui trasversali prese in considerazione sono:

1. per trasversali in rettilineo sollecitazioni M1 indotte dal peso e dal vento sulla linea per doppio bifilare (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 bifilare 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 bifilare, in quanto sostenenti anche campata linea rettilinea che prosegue dopo il tratto in curva.

Nelle TAVOLE già elencate per ogni punto di sospensione sono riportate le sollecitazioni indotte sui trasversali che partono dallo stesso punto.

Le sollecitazioni indotte dalla linea si trasferiscono attraverso la rete di sospensione ai collari dei pali di sostegno ed ai ganci a muro: 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:

$$M_4 = F * x$$

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 5.2.4 della presente relazione e presenti palo per palo in ALLEGATO 2.

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)

5.2.3 Sollecitazioni indotte direttamente sul palo di sostegno

M₃ - 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 **M₁**, rappresentata da vento spirante normalmente alla linea a 65 Km/h e manicotto di ghiaccio.

Conformemente alla norme CEI 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:

$F_{vp} = 18 \cdot l \cdot d$ [Kg] dove 18 Kg/m² 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:

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

5.2.4 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.

S₁ - 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_v = 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 $\sigma_a = 30 / 3 = 10$ Kg/mm²

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)

considerando di utilizzare il conduttore in filo sagomato di rame elettrolitico sez. 100 mm² CNR - CEI UNEL 70611-71 SI HA:

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

Si ipotizza che il peso dello scambio Pv 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 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

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

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

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

(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:

$$N = 2$$

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

² Si considera un pendenza del trasversale uguale per tutti e corrispondente al 12%.

³ 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)

(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)

$P_o = 76 / 2 / (2 * \operatorname{tg}\beta) = 155 \text{ Kg}$ 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:

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

S_2 - 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:

$P_v = 68 \text{ kg}$ (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^2 CNR - CEI UNEL 70611-71 SI HA:

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

Si ipotizza che il peso dello scambio P_v 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:

$P_v = 68 \text{ Kg}$

T tensione in ogni filo di lavoro:

$T = 1000 \text{ Kg}$

Angolo formato con l'orizzontale dal tirante trasversale al gancio

$\beta = 7,6^\circ$ (12% circa)

$\beta = 0.13264$ radianti

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 carico dovuto al peso dello scambio è:

$P_v = 68 \text{ Kg}$ 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:

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \operatorname{tg} \beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) } 0.13264 \text{ radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^4.$$

(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:

$$N = 2$$

$$P_o = P_v / 2 / (2 * \operatorname{tg} \beta) \quad \text{dove } \beta = 7,6^\circ \text{ (12\% circa) } 0.13264 \text{ radianti è l'angolo formato dalla trasversale con l'orizzontale}^5.$$

(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:

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

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

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

⁵ 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)

5.2.5 Calcoli di verifica

Nel progetto esecutivo devono essere riportate tutte le schede di calcolo che riportano 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 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 somma delle sollecitazioni indotte sul palo e illustrate nei paragrafi 5.2.2 e 5.2.3 e della quota di applicazione indicata nel paragrafo 5.2.1.

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.

In questa fase di progettazione definitiva tale verifica è stata fatta ma non si riporta nella Relazione né nelle singole schede di verifica.

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 DALMINE S.P.A

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

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

Le caratteristiche di resistenza dei pali esistenti utilizzati nel progetto (vedi Tabella “Elenco pali e caratterizzazione” in fondo alla relazione) sono ricavate dalla 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.**

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)

5.3 Calcolo dei blocchi di fondazione

5.3.1 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.

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.

L’azione della fondazione sul terreno di posa è svolta in una specifica Relazione Geotecnica che è parte integrante del progetto, a cui questa relazione rimanda.

5.3.2 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:

$M_r = F * (h+c)$ 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:

$M_s = (C * b * c^3) + (0,85 * Pa / 2)$ 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 interramento del blocco.

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

Nel caso specifico poiché il terreno interessato è ubicato sia nell’area del parcheggio, già sede di un piazzale carrabile preesistente, sia nella sede stradale 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, si è adottato un valore di calcolo uguale al massimo ammissibile di 1100 Kg/m^3 .

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)

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).

Il momento ribaltante non deve superare l'85% del momento stabilizzante 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 $M_s / M_r \geq 1.176$.

Anche per questa verifica nel presente progetto Definitivo si omettono tutte le schede con il dimensionamento palo per palo dei blocchi, calcolate con i criteri sopra indicati.

5.4 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 2):

Smax (tirante d'ancoraggio scambio elettrico e scambio meccanico) =

1000 Kg < 2000 kg.

5.5 Calcolo di verifica degli ancoraggi a muro

5.5.1 Descrizione ancoraggi a muro

Il progetto della nuova linea comporta la realizzazione di nuovi ancoraggi a muro.

Gli ancoraggi a muro sono realizzati per mezzo di barre a filettatura metrica in acciaio inox con gancio ad occhiolo, fissate alla muratura con ancorante chimico in resina rinforzata con legante idraulico ed induritore.

La resina in esame è adatta per il fissaggio chimico ad alta resistenza su calcestruzzo o muratura in mattoni pieni, garantendo un'elevata resistenza e basse sensibilità all'umidità.

Le caratteristiche di resistenza del fissaggio dipendono in modo considerevole dalle caratteristiche del supporto; pertanto, i punti d'ancoraggio sono eseguiti in opera evitando pareti di tamponamento e in generale

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)

muri in laterizio forato, privilegiando le strutture in calcestruzzo armato o, in mancanza di quest'ultimo, le murature in mattone pieno.

I tiranti filettati sono in acciaio inox M20 ed hanno un diametro di 20 mm ed una profondità di 200 mm.

Tutti gli ancoraggi a muro sono realizzati a distanza dal bordo libero della muratura (spigolo, montante o davanzale finestra, inizio muro tamponamento) maggiore della distanza critica indicata dal produttore di 210 mm per le barre M20.

Nell'ALLEGATO A sono riportate esplicitamente le procedure di posa dell'ancoraggio a muro seguite durante dal nostro personale in fase realizzativa, le caratteristiche tecniche e di resistenza dell'insieme legante barra d'ancoraggio, a base dei successivi calcoli di verifica.

E' riportato, inoltre, la descrizione specifica del legante in resina, con le caratteristiche tecniche generali.

Il calcolo di verifica è fatto considerando che in caso incidentale la rottura avvenga lungo il tirante e non già in corrispondenza del gancio a muro.

Nella Tabella "GANCI A MURO DI SOSTEGNO DI PROGETTO" presente in fondo alla relazione sono indicati per ogni gancio i seguenti dati:

- Numero identificativo del Gancio;
- Tipo del gancio se nuovo o già esistente;
- Numero tiranti della rete di sospensione sostenuti dal gancio;
- Sollecitazione totale sul gancio, determinata dalla TAVOLE;
- NOTE con indicazione della via e del numero civico dell'edificio in cui è installato il gancio.

Dal calcolo grafico delle sollecitazioni indotte nei ganci di sostegno dalla rete di sospensione (vedi TABELLA GANCI) le sollecitazioni determinate risultano essere non maggiori di 1000 Kg, come richiesto dalla normativa di riferimento (punto 2.5.05 delle norme CEI CNR 9-2).

3.6.2 Calcoli di verifica

Materiale di supporto: calcestruzzo armato / mattone pieno.

Resistenza a compressione: 400 Kg/cm² quindi con Resistenza \geq C20/25

Spessore del supporto: h \geq 280 mm.

Dovendo avvenire per ipotesi la rottura (vedi paragrafo precedente di verifica dei tiranti) si effettua la verifica supponendo una sollecitazione massima di 2000 kg anche se dagli elaborati di progetto la sollecitazione risultante massima su un gancio (gancio GE6) è di 849 Kg

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 = 849 kg;**

considerando un angolo d'incidenza della direzione di carico rispetto alla direzione del supporto di 15° si ha il seguente stato di sollecitazione:

sforzo di taglio: $T = P * \sin 15^\circ = 220 \text{ Kg}$

sforzo normale: $N = P * \cos 15^\circ = 820 \text{ Kg}$

Dalla tabella visibile in ALLEGATO A si ha barre filettate zincate in acciaio inox A2 M20 con profondità d'ancoraggio pari a 200 mm i e per R_{ck} 20/25 valori delle resistenze (carichi limite di servizio) raccomandate dal venditore di:

$$T_{\text{resistente}} = 3640 \text{ Kg} > 220 \text{ kg}$$

$$N_{\text{resistente}} = 3050 \text{ Kg} > 820 \text{ kg}$$

Essendo il carico obliquo. le schede tecniche del materiale impongono anche la verifica del carico combinato taglio sforzo normale:

$(T / T_{\text{resistente}}) + (N / N_{\text{resistente}}) \leq 1.2$ e quindi la verifica

$(194 / 3640) + (726 / 3050) = 0.060440 + 0.268852 = 0.329292 < 1.2$ è rispettata

6 Elaborati grafici

Negli elaborati grafici di progetto riportati in ALLEGATO 3, 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.

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.