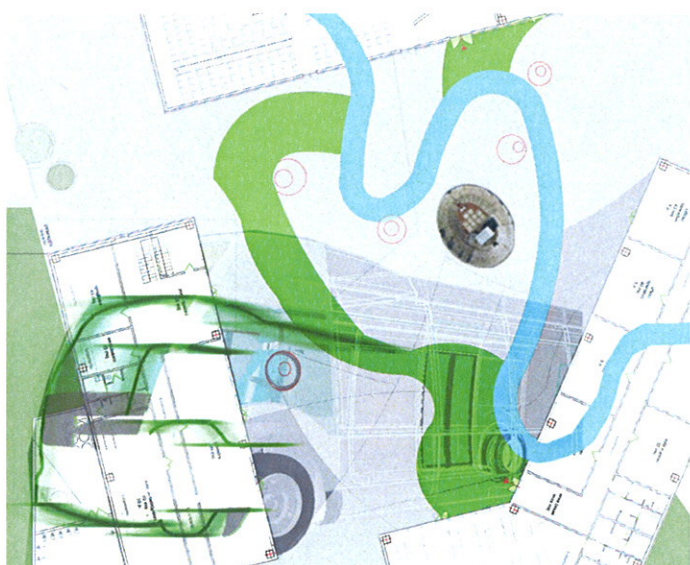


SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO

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

OFFERTA TECNICA
B2 - PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTO :

SOTTOSTAZIONI

RELAZIONE TECNICA - SIMULAZIONE PER IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA
ELETTRICO DI TRAZIONE

CONCORRENTE
ATE:

SOVECO
COSTRUZIONI SPA

CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI
CCC

Società cooperativa
(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

APTS
Advanced Public
Transport Systems by

ALPIQ
Alpiq InTec Verona S.p.A.

MAZZI
Impresa Generale Costruzioni
S.p.A.

Balfour Beatty
Rail

SCALA	-
RIF. N°	PDE0300RT02A.doc
ALLEGATO N°	PD E0300 RT02A

PROGETTAZIONE
COSTITUENDO R.T.P.:



(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Massimo Raccosta



DIRETTORE TECNICO

Dott. Arch. Valentina Butterini

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

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

1.	SCOPO DEL DOCUMENTO	2
2.	SOMMARIO	2
3.	INTRODUZIONE.....	2
3.1.	SIMULAZIONE ESEGUITA	3
3.2.	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	5
4.	DATI DI INGRESSO	6
4.1.	SOTTOSTAZIONI	6
4.2.	CONDUTTORI	8
4.3.	DATI CARATTERISTICI DEL VEICOLO.....	8
4.4.	LIMITI DELLA TENSIONE DI LINEA AL FILOBUS	11
4.5.	DATI DEL PERCORSO	11
4.6.	ORARIO DI CIRCOLAZIONE	12
5.	RISULTATI SIMULAZIONE	16
5.1.	VERIFICA DELLA TENSIONE LUNGO OGNI PERCORSO	16
5.2.	VERIFICA DIMENSIONAMENTO GRUPPO DI CONVERSIONE E CONDUTTORI	20

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento è la verifica del sistema elettrico di trazione, che prevede l'analisi dell'andamento delle tensioni minime in linea, del carico di sottostazione e del corretto dimensionamento delle condutture; risultati ottenuti attraverso una simulazione computerizzata di circolazione dei veicoli filoviari, in cui sono stati analizzati sia gli aspetti di natura elettrica e meccanica del Sistema.

2. SOMMARIO

Al fine di ottemperare alle prescrizioni indicate al punto C1.6.1 del Disciplinare Tecnico di gara è stata eseguita una simulazione di dimensionamento elettrico considerando di avere un solo gruppo di conversione (trasformatore - raddrizzatore) in funzione contemporaneamente in tutte le sottostazioni, condizione più restrittiva rispetto a quanto richiesto.

Per mantenere la tensione in linea nei limiti previsti dalla Norma CEI EN 50163:2004, limitando le cadute di tensione, e garantire in qualsiasi punto della rete in caso di un cortocircuito l'intervento della protezione diretta dell'interruttore è stato necessario prevedere in alcune sezioni del tracciato un alimentatore di rinforzo.

Il valore r.m.s. del carico richiesto alle sottostazioni è sempre inferiore alla potenza nominale di un trasformatore.

Il valore r.m.s della corrente che transita negli alimentatori da sottostazione a linea e negli alimentatori di rinforzo impiegati in linea è sempre inferiore alla portata stessa del cavo, ed in particolare nei collegamenti verso la linea nelle sottostazioni oggetto del progetto definitivo a base di gara, è prevista una ridondanza, in quanto un solo cavo dei due previsti in parallelo sarebbe sufficiente.

Nella configurazione del sistema elettrico di trazione proposto, dove è stato previsto in alcune sezioni anche un conduttore ausiliario di rinforzo, la tensione lungo il tracciato elettrificato è ben superiore ai limiti minimi prescritti dalla Norma di riferimento.

3. INTRODUZIONE

La sezione elettrificata del sistema filoviario TPTF di Verona è alimentato ad una tensione nominale di 750Vcc da undici sottostazione, più due sottostazioni aggiuntive dedicate per alimentare la futura estensione dell'elettrificazione verso il centro, ad esclusione delle parti più sensibili:

- Ponte della Vittoria, via Diaz, corso Cavour e corso Castelvechio
- corso di Porta Nuova, via degli alpini e via Pasubbio

La denominazione delle sottostazioni è la seguente, invece per il posizionamento sul tracciato, si veda le tavole del piano di elettrificazione:

S.S.E. 1 – Via Paganella

S.S.E. 2 – Via Confortini

S.S.E. 3 – Rondò della Corte, via Mefistofele

S.S.E. 4 – Via Passo Buole

S.S.E. 5 – Cà de Cozzi

S.S.E. 6 – Stadio, via Frà Giocondo

S.S.E. 7 – Piazza XXV Aprile

S.S.E. 8 – Fiera, via Scopoli

S.S.E. 9 – Largo Perlar

S.S.E.10 – Deposito

S.S.E. 11 – Via Bengasi

nella futura estensione della rete:

S.S.E. 12 – Piazza Pradaval

S.S.E. 13 – Via Barana

In ogni sottostazione sono presenti due gruppi di conversione, ognuno dei quali è composto da un trasformatore di potenza nominale 1250 kVA a due secondari 625-625 kVA, con rapporto di trasformazione $10/15(\pm 2 \times 2,5\%)/0,59$ kV e da un raddrizzatore a reazione dodecafase di potenza nominale 1000 kW con bobina interfase.

La configurazione elettrica della rete utilizzata per eseguire la presente analisi è riportata nello schema elettrico di trazione dell'impianto, documento PD E0300 SH01A.

3.1. SIMULAZIONE ESEGUITA

Il dimensionamento elettrico del Sistema filoviario è stato eseguito con le ipotesi seguenti:

- dati caratteristici elettrici di assorbimento dei veicoli Phileas da 25m, riportati per esteso nel sottoparagrafo 3.3;
- distanziamento tra i veicoli pari a 3 minuti nelle sezioni di tracciato con sovrapposizione di due o più linee di percorrenza e altrove di 6 minuti, come riportato in figura 1

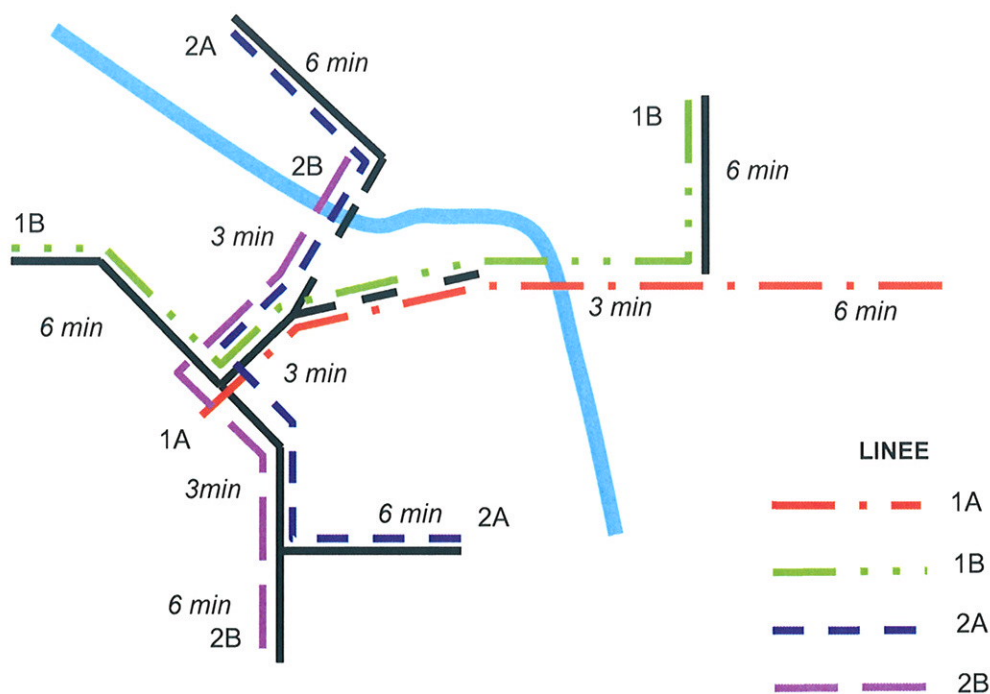


Figura 1: Cadenzamento veicoli nella rete.

In condizioni di normale esercizio i due gruppi di conversione installati in ogni sottostazione sono in funzione.

In condizioni di degrado è richiesto di garantire la continuità di servizio/esercizio anche nel caso di un parziale fuori servizio (per manutenzione o guasto) di una delle sottostazioni, ovvero un solo gruppo di conversione in funzione.

Nel seguito sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi eseguita direttamente sulla condizione di esercizio in degrado, più restrittiva rispetto al normale esercizio.

Invece di analizzare tutti i vari casi, simulando a rotazione il fuori servizio parziale di ogni sottostazione, si è deciso di eseguire una simulazione considerando però di avere un solo gruppo di conversione (trasformatore - raddrizzatore) in funzione contemporaneamente in tutte le sottostazioni, condizione più restrittiva rispetto a quanto richiesto.

In linea, per sezionare le vie di corsa sono stati previsti sezionatori bipolari con apertura sottocarico, nella simulazione sono stati considerati con la seguente configurazione (per la localizzazione si veda lo schema elettrico di trazione e le rispettive tavole del piano di elettrificazione):

N° SEZIONAMENTO	N.O.	N.C.
Q SEZ. 1		X
Q SEZ. 2		X
Q SEZ. 3		X
Q SEZ. 4		X
Q SEZ. 5		X
Q SEZ. 6	X	

Nota:

N.C.: sezionamento normalmente chiuso;

N.O.: sezionamento normalmente aperto.

Per eseguire lo studio è stato impiegato il programma di calcolo ELBAS SINANET, basato sulla simulazione di circolazione dei veicoli filoviari su di un percorso, con infrastruttura di distribuzione dell'energia modellabile in tutti i suoi aspetti secondo le caratteristiche reali del sistema e della circolazione, sia da un punto di vista elettrico che meccanico. Tale programma è stato in precedenza verificato e validato sulla base dei risultati pratici dal campo di reti analoghe a quella in studio.

L'analisi di dimensionamento elettrico eseguita, ha permesso di individuare anche i punti più appropriati in cui fornire attraverso le S.S.E l'alimentazione alla sezione elettrificata a 750 Vcc del sistema filoviario TPTF, al fine di ottenere una distribuzione equilibrata del potenziale lungo linea, evitando di avere sezione in cui la caduta di tensione sia troppo accentuata.

3.2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Le norme considerate come riferimento per il calcolo sono le seguenti:

- **Norma IEC 60850 – Anno 2007-02 Edizione terza**
Railway application: Supply voltages of tractions systems
- **Norma IEC 60146-1-1 – Anno 2009-06 Edizione quarta**
Semiconductor converters - General requirements and line commutated converters
- **Norma CEI EN50327 – Anno 2003-11 Edizione prima**
Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Armonizzazione dei valori di targa per gruppi di conversione e prove sui gruppi di conversione

4. DATI DI INGRESSO

4.1. SOTTOSTAZIONI

Trasformatore:

$A_n = 1250 \text{ kVA}$ a due secondari da 625 kVA

$uk_{p-s} = 12\%$ riferita al primario

$U_{1n} = 10/15 \text{ kV}$

$U_{20} = 590 \text{ V}$

in cui

A_n : potenza apparente nominale del trasformatore

uk_{p-s} : tensione di corto circuito del trasformatore primario - secondario

A : potenza apparente nominale del trasformatore

U_{1n} : tensione nominale della rete di alimentazione

U_{20} : tensione secondaria a vuoto del trasformatore

Raddrizzatore a reazione dodecafase a doppio ponte di Graetz con bobina interfase di potenza nominale

$P_n = 1000 \text{ kW}$

Le condizioni di esercizio in sovraccarico richieste dalle apparecchiature sono le seguenti:

- il 50% della potenza nominale per 2 h, un ciclo ogni otto ore
- il 100% della potenza nominale per 2 minuti, un ciclo ogni ora

Nel programma di calcolo come dati di ingresso della sottostazione sono stati inseriti il valore della resistenza equivalente totale e il valore della tensione continua a vuoto U_{d0} .

Si riportano nel seguito i calcoli sviluppati per ricavare la resistenza equivalente totale di sottostazione

$$R_{SSE} = R + R_{rad} + R_{cavi} + R_{monte}$$

utilizzando il procedimento indicato nella CEI EN 50327:2003-11:

$$I_{NL} = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot U_{20}} = \frac{1250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 590} = 1223[A]$$

$$I_{NL} / I_{Nd} = 0,78$$

$$I_{Nd} = \frac{1223}{0,78} = 1568[A]$$

$$I_{Bd} / I_{Nd} = 0,81$$

$$I_{Bd} = 1568 \cdot 0,81 = 1270[A]$$

$$U_{d0} = 1,35 \cdot U_{20} = 1,35 \cdot 590 = 796[V]$$

dove:

I_{NL} : corrente di targa lato alimentazione di un gruppo di conversione

I_{Nd} : corrente continua di targa lato trazione di un gruppo di conversione

I_{Bd} : corrente continua di base di uscita

U_{d0} : tensione continua convenzionale a vuoto

$$\frac{I_{Bd}}{I_{SSmax}} = (1 + 0,9) \cdot \sqrt{3} \cdot d_x$$

$$d_x = 0,26 \cdot \frac{uk_{p-s}}{100} = 0,26 \cdot \frac{12}{100} = 0,0312 \quad \text{dove:}$$

$$\frac{I_{Bd}}{I_{SSmax}} = (1 + 0,9) \cdot \sqrt{3} \cdot 0,0312 = 0,1027$$

$$I_{SSmax} = \frac{I_{Bd}}{0,1027} = \frac{1270}{0,1027} = 12366[A]$$

mentre:

I_{SSmax} Valore massimo teorico della corrente di tenuta al cortocircuito con $L_d = \inf$

d_x : caduta di tensione resistiva

da cui si ricava la R pari a

$$R = \frac{U_{d0}}{I_{CC}} = \frac{796}{12980} = 0,061[\Omega]$$

Si assume la resistenza del raddrizzatore R_{rad} pari a $0,001[\Omega]$, valore consigliato dalla Norma e la resistenza dovuta a cavi di interconnessione tra le apparecchiature all'interno della sottostazione R_{cavi} pari a $0,001[\Omega]$.

La corrente di corto circuito della rete di alimentazione in media tensione a 10/15 Kv è pari a circa 12,5kA, riportata sul lato di bassa tensione, si ottiene una resistenza del generatore equivalente della rete a monte R_{monte} di $0,0016\Omega$.

Concludendo, il valore della resistenza equivalente totale di sottostazione vale quindi:

$$R_{SSE} = R + R_{rad} + R_{cavi} + R_{monte} = 0,064 + 0,001 + 0,001 + 0,0016 = 0,0676 \cong 0,068[\Omega]$$

(con un solo gruppo di conversione in servizio)

4.2. CONDUTTORI

Il calcolo della resistenza dei conduttori è basato sulle seguenti ipotesi:

Temperatura del filo di contatto	50°C
Consumo medio del filo	20%
Temperatura del cavo	60°C

Conduttori:

Filo di contatto polarità positivo	1 x 100mm ² Cu
Filo di contatto polarità negativa	1 x 100mm ² Cu
Cavo di rinforzo polarità positiva:	1x 400 mm ² Al
Cavo di rinforzo polarità negativa:	1x 400 mm ² Al
Alimentatori dalla SSE alla linea polarità positiva:	2x 120 mm ² Cu
Alimentatori dalla SSE alla linea polarità negativa:	2x 120 mm ² Cu
Collegamenti equipotenziali:	1x150 mm ² Cu

4.3. DATI CARATTERISTICI DEL VEICOLO

Nel seguito sono riportati i dati caratteristici meccanici ed elettrici del veicolo Phileas da 25m, utilizzati per eseguire il dimensionamento del sistema elettrico di trazione.

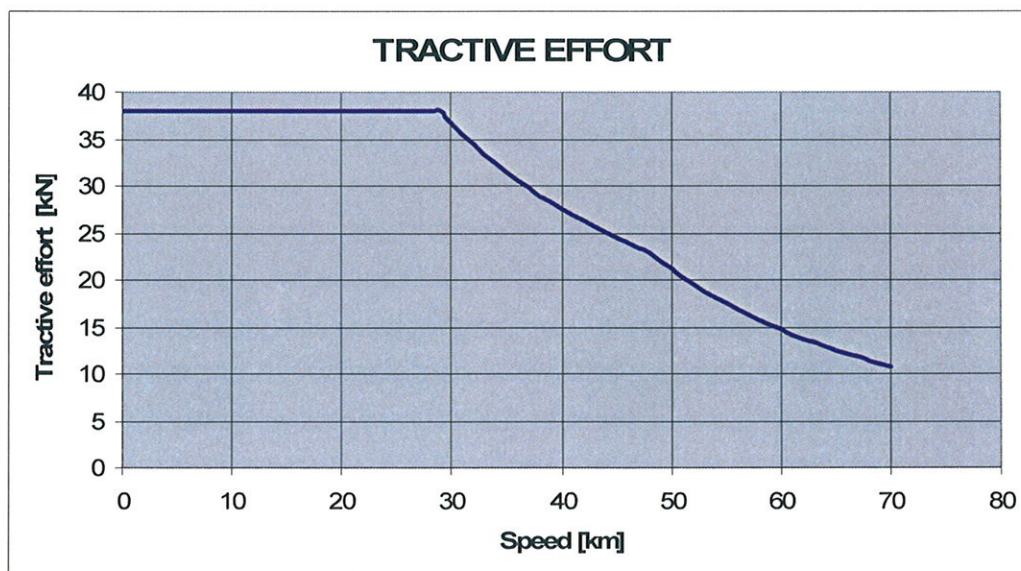
massa a vuoto	m_L	22,2	t
massa d'attrito	m_A	22,2	t
carico dei passeggeri	m_Z	15,5	t
fattore per gli assi trainati	c_l	0,0015	
fattore per gli assi motori	c_t	0,0035	
fattore di forma	c_F	0,0035	
area frontale	A_F	8	m ²
velocità massima	V	70	km/h
tensione nominale	U_N	750	V
cambio di caratteristica 1 (accel.)	v_{01}	27	km/h
cambio di caratteristica 2 (accel.)	v_{02}	46	km/h
cambio di caratteristica 3 (fren.)	v_{03}	65	km/h
fattore di massa	roh	1,08	
accelerazione	a	0,94	m/s ²

vento contrario	dV	10	km/h
velocità max.	V	70	km/h

decelerazione	-a	0,90	m/s ²
rendimento	η	0,83	
fattore di attrito	μ	0,5	
corrente ausiliari	I _{Hilf}	65,3	A

	sforzo di trazione	F _{erf}	38	kN
	corrente max trazione	I _{max}	560	A
	sforzo di frenatura	F _{Br}	38	kN
	corrente max.	I _{max-Br}	430	A
	frenatura			

Le rispettive Curve velocità/sforzo di trazione (frenatura) sono riportate nella figura 2 seguente:



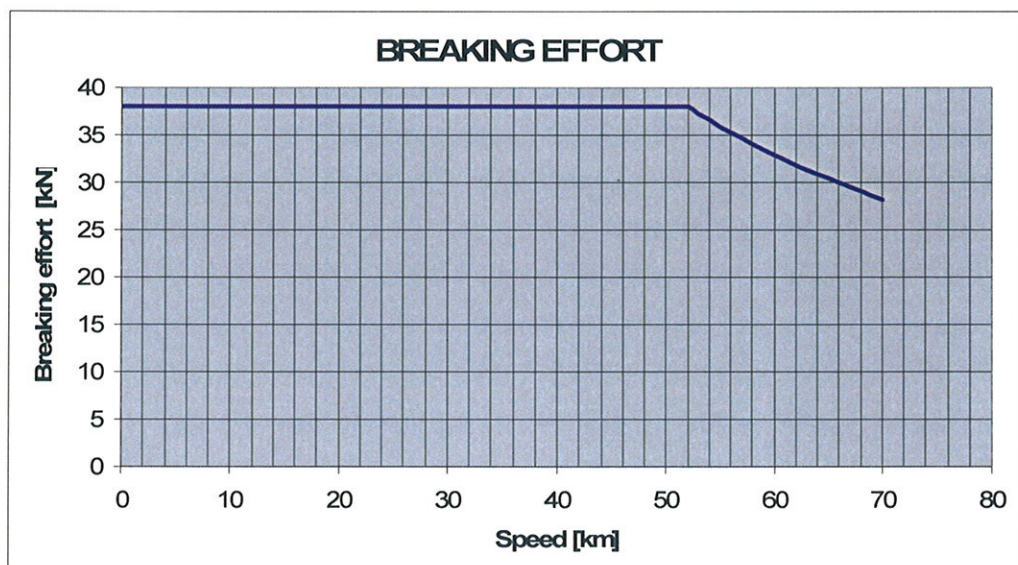
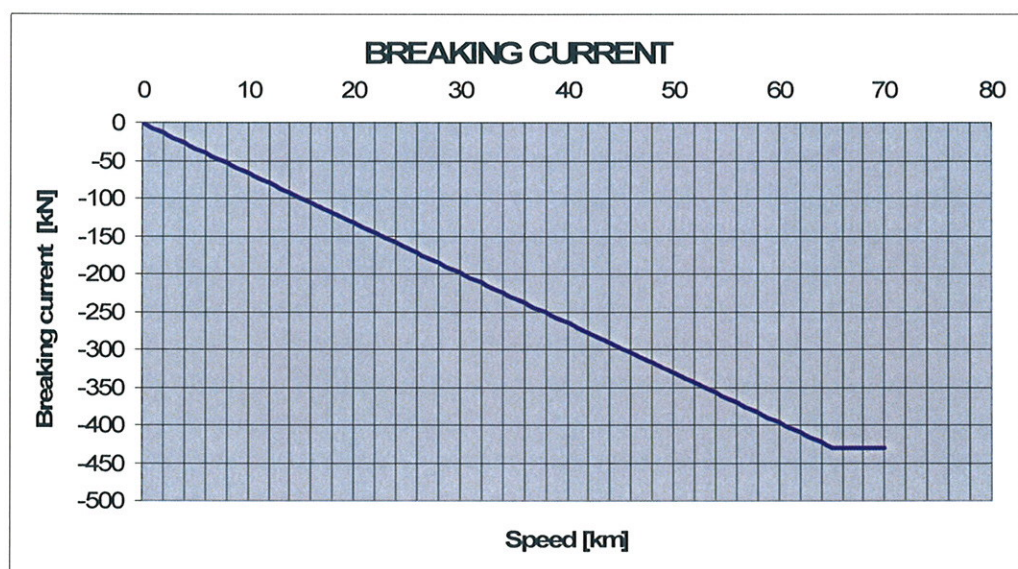
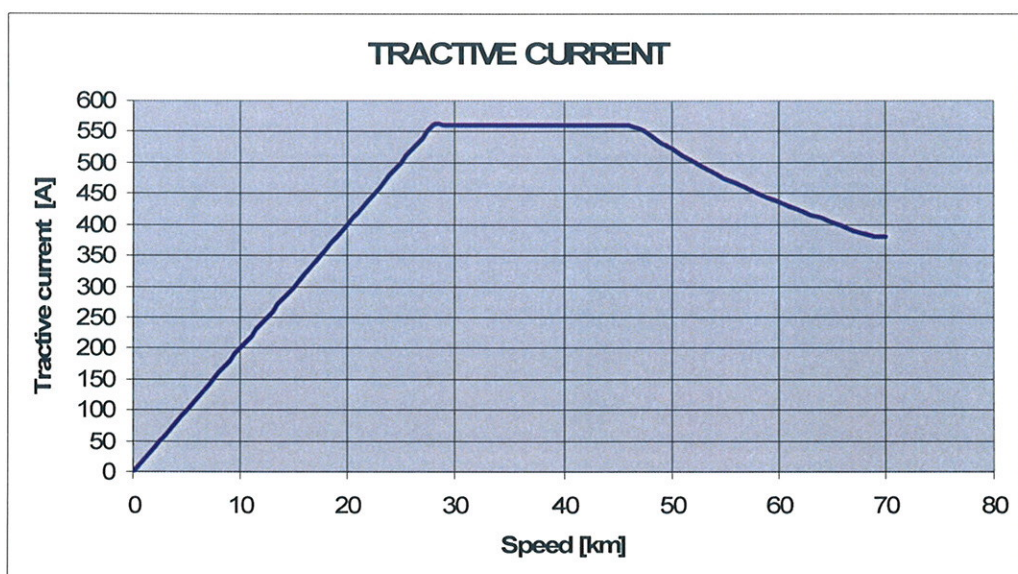


Figura 2: Curve velocità/sforzo di trazione (frenatura) - Caratteristiche del veicolo filoviario.

4.4. LIMITI DELLA TENSIONE DI LINEA AL FILOBUS

I limiti di tensione considerati nello studio sono in accordo a quanto definito nella normativa europea CEI EN 50163:2004 e di seguito riepilogati.

Tensione minima non permanente	Tensione minima permanente	Tensione nominale	Massima tensione permanente	Massima tensione non permanente	Massima tensione per $t=0,02$ s
$U_{\min 2}$	$U_{\min 1}$	U_n	$U_{\max 1}$	$U_{\max 2}$	$U_{\max 3}$
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
500	500	750	900	1000	1.270

Tabella 1: Tensioni di alimentazione per Sistemi in corrente continua.

4.5. DATI DEL PERCORSO

Le pendenze del tracciato in prima approssimazione non sono state valutate, in quanto presenti solo in brevi tratti e con inclinazione tale da non influenzare i risultati ottenuti dall'analisi eseguita.

Il limite di velocità lungo il percorso in rettilineo è stato fissato a 50km/h, in corrispondenza dei cambi di direzione, la velocità massima di percorrenza del veicolo è funzione dei raggi di curvatura, si veda il grafico di figura 3.

Per ogni fermata è stato ipotizzato un tempo di sosta pari a 20 secondi per la discesa e salita dei passeggeri.

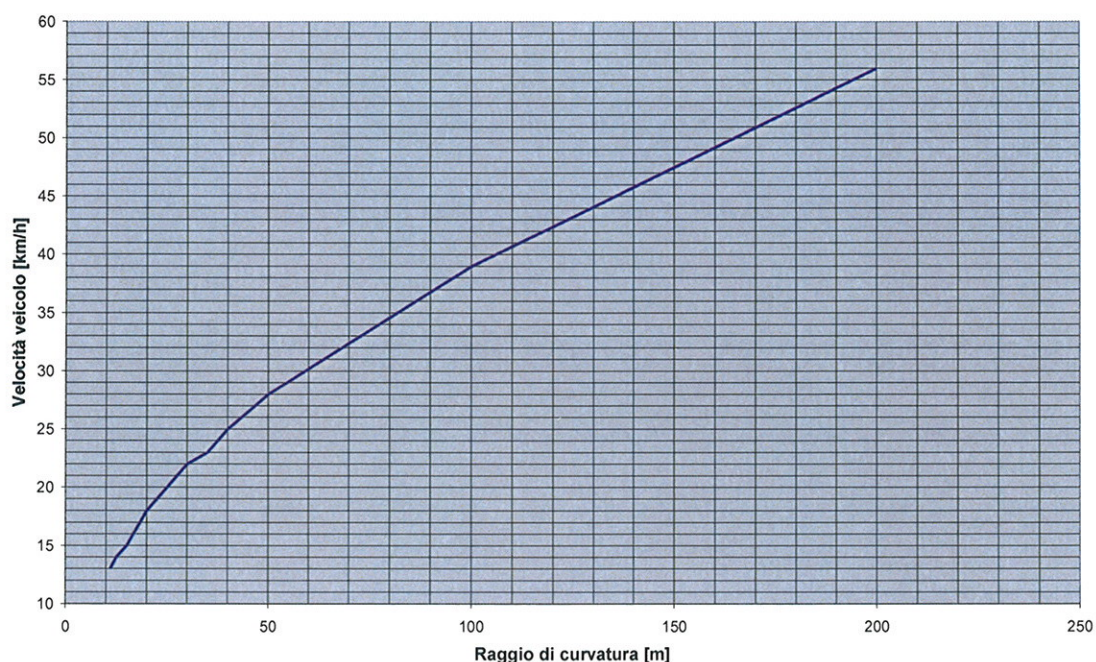


Figura 3: Velocità massima di percorrenza del veicolo in funzione dei raggi di curvatura.

4.6. ORARIO DI CIRCOLAZIONE

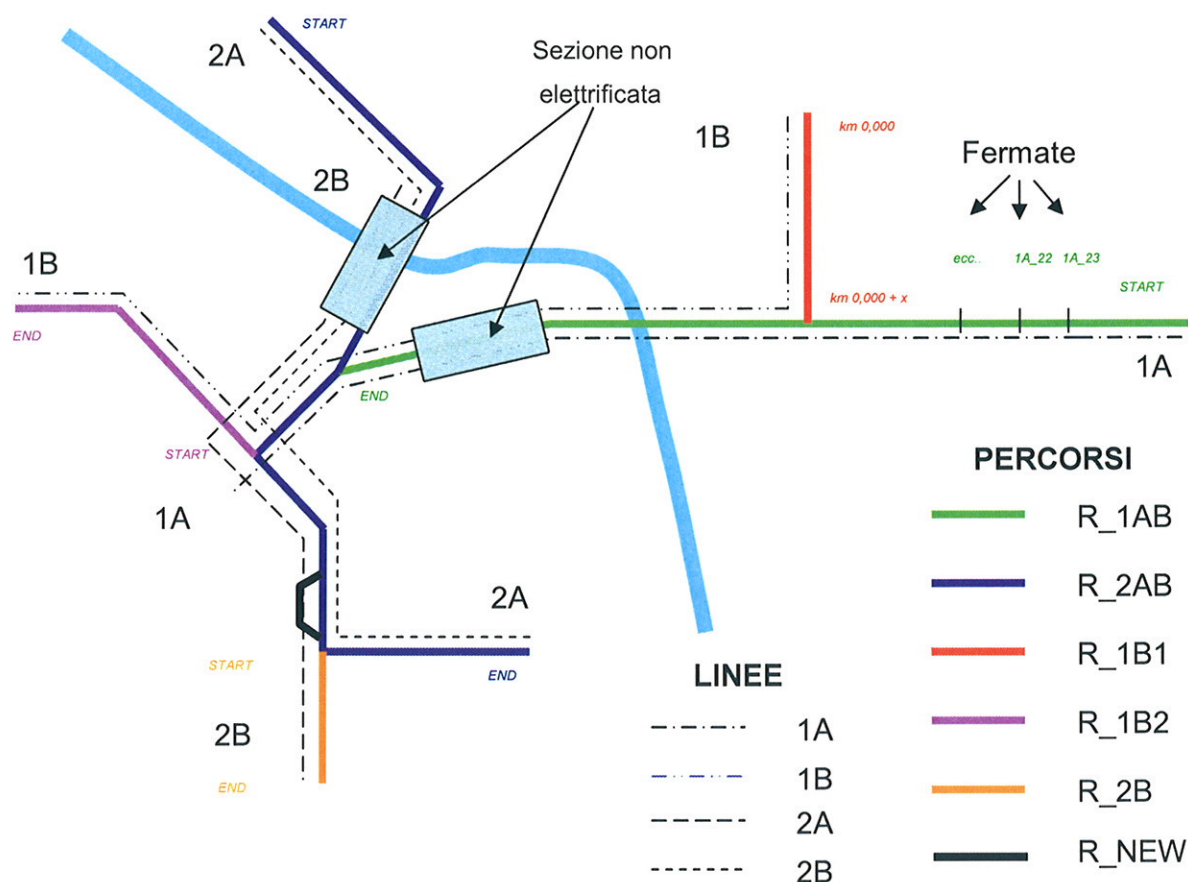
Il distanziamento tra i veicoli è stato considerato pari a 3 minuti nelle sezioni di tracciato con sovrapposizione di due o più linee di percorrenza e altrove di 6 minuti,

Per necessità di calcolo, al fine di realizzare la condizione di cadenzamento suddetto è stato necessario suddividere il tracciato in cinque percorsi denominati R_1AB, R_2AB, R_1B1, R_1B2, R_2B ed R_NEW, lungo i quali si sviluppano le quattro linee (1A, 1B, 2A e 2B), vedasi a miglior spiegazione la figura 4 seguente.

Nelle figure 5, 6, 7, 8, 9 e 10 sono riportate per ciascun percorso la tabella oraria relativa ad un'ora di circolazione, in cui in ordinata è indicato il tempo e in ascissa la localizzazione delle fermate lungo il percorso. In fermata lo spostamento della partenza in una direzione si può notare dalla diversa ascissa degli incroci tra i veicoli che percorrono la via di andata "U" e di ritorno "D".

Per necessità di calcolo, la circolazione dei veicoli è stata considerata uniforme, senza situazioni di perturbazione dovuti a ritardi o recupero dopo interruzione del servizio.

Figura 4 : Configurazione dei percorsi e delle linee.



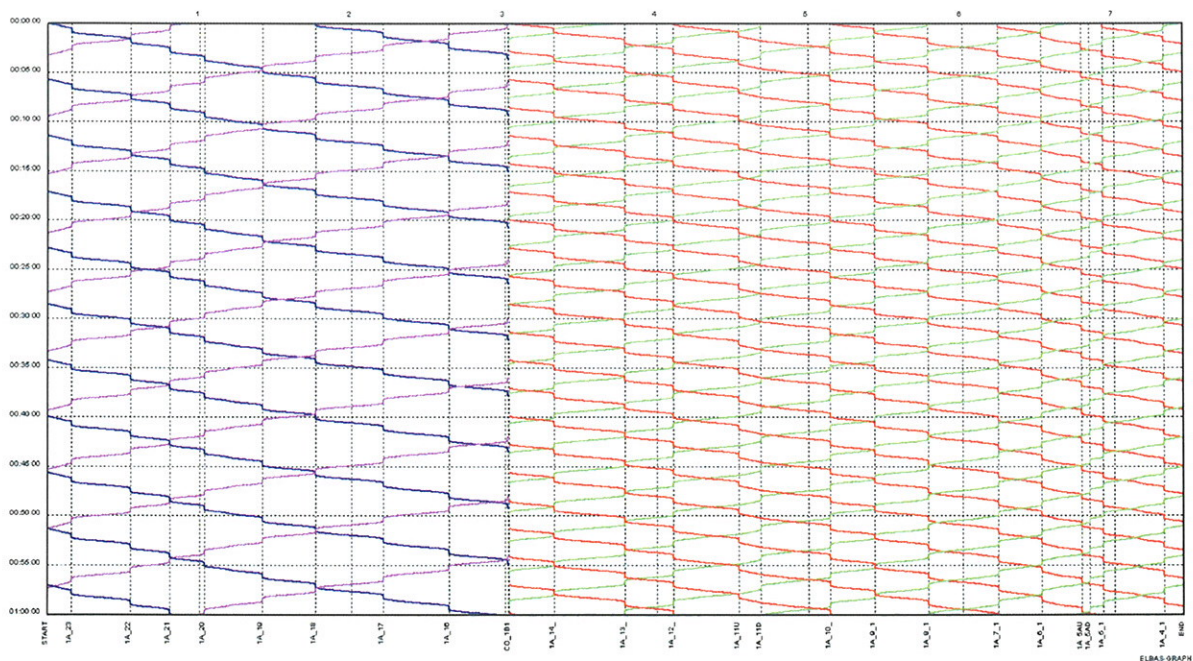


Figura 5: Tabella oraria del percorso R_1AB.

Con riferimento alla figura 5, si osserva un cadenzamento pari a 6 minuti per il primo tratto del percorso, in cui è presente solo la linea L 1A, successivamente si riduce a tre minuti quando si sovrappone la linea L 1B.

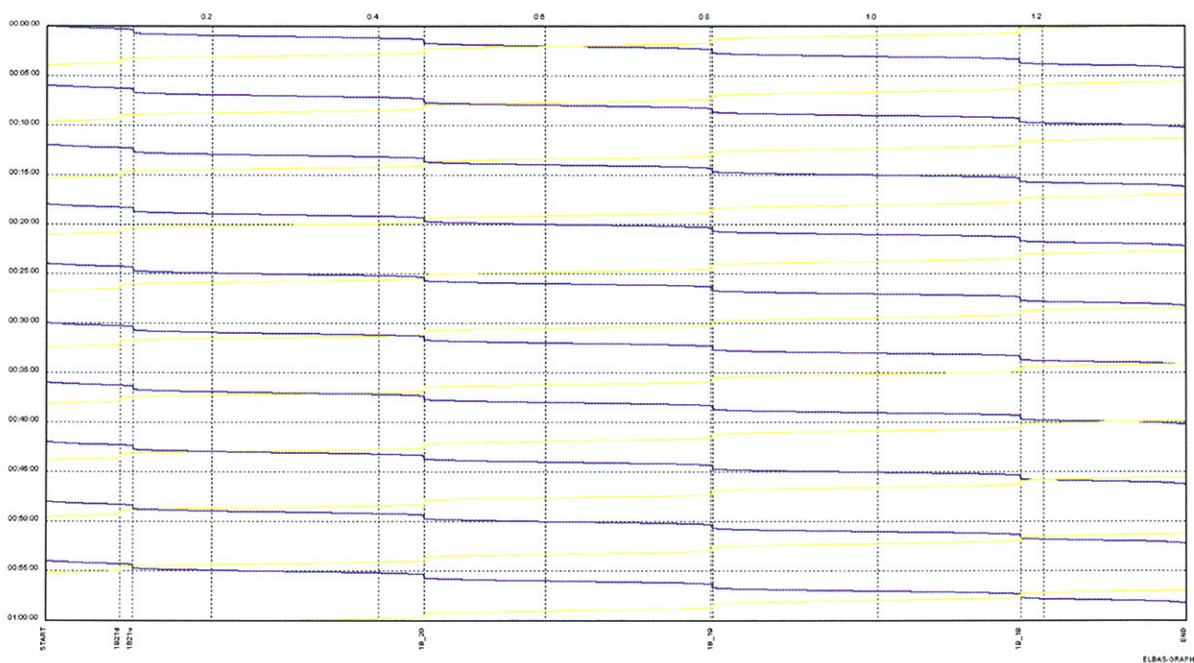
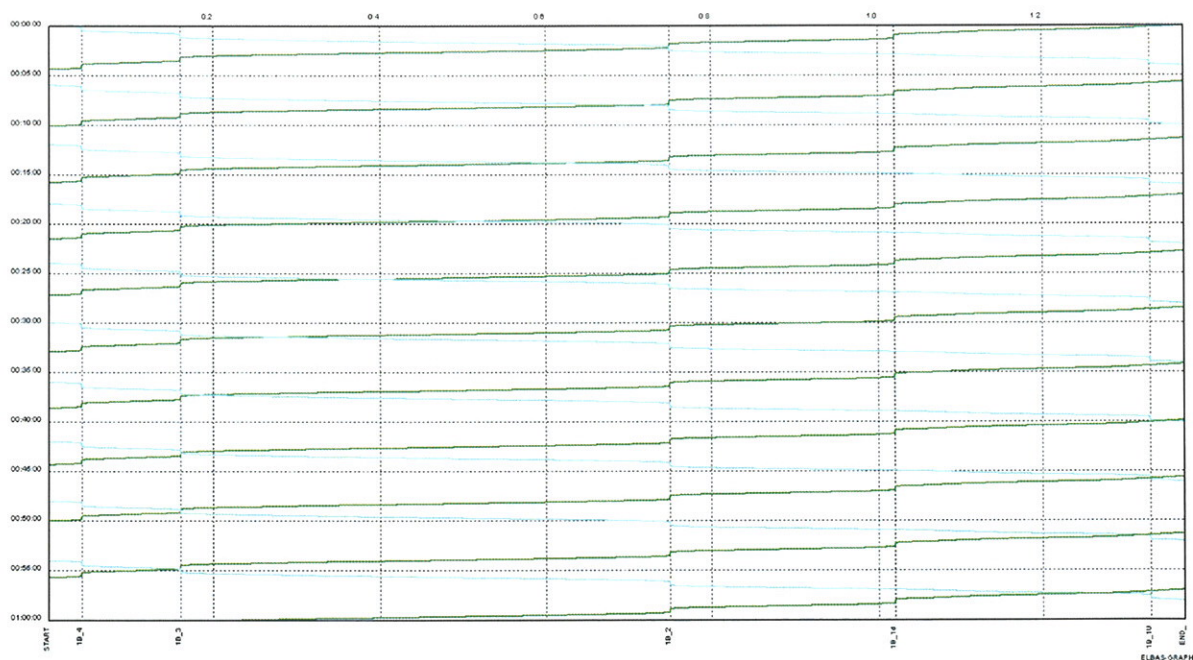
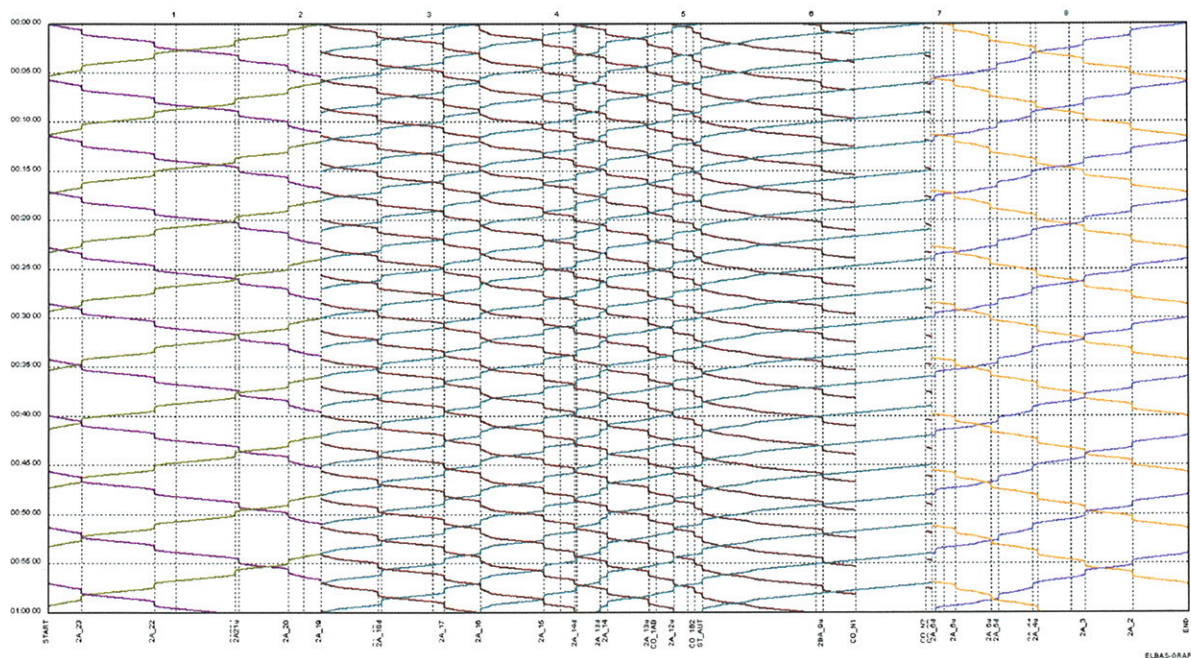


Figura 6: Tabella oraria del percorso R_1B1.

Con riferimento alla figura 6, si osserva un cadenzamento pari a 6 minuti lungo l'intero percorso, in quanto è presente solo la linea L 1B.



Con riferimento alla figura 7, si osserva un cadenzamento pari a 6 minuti lungo l'intero percorso, in quanto è presente solo la linea L 1B.



Con riferimento alla figura 8, si osserva un cadenzamento pari a 6 minuti per il primo tratto del percorso, in cui è presente solo la linea L 2A, successivamente si riduce a tre minuti quando si sovrappone la linea L 2B prima, poi le altre linee L 1A e L 1B solo in prossimità di Piazzale XXV Aprile, poi ritornare a due linee L 2A e L 2B ed infine nell'ultimo tratto verso Verona Sud solo la linea L 2A a 6 minuti.

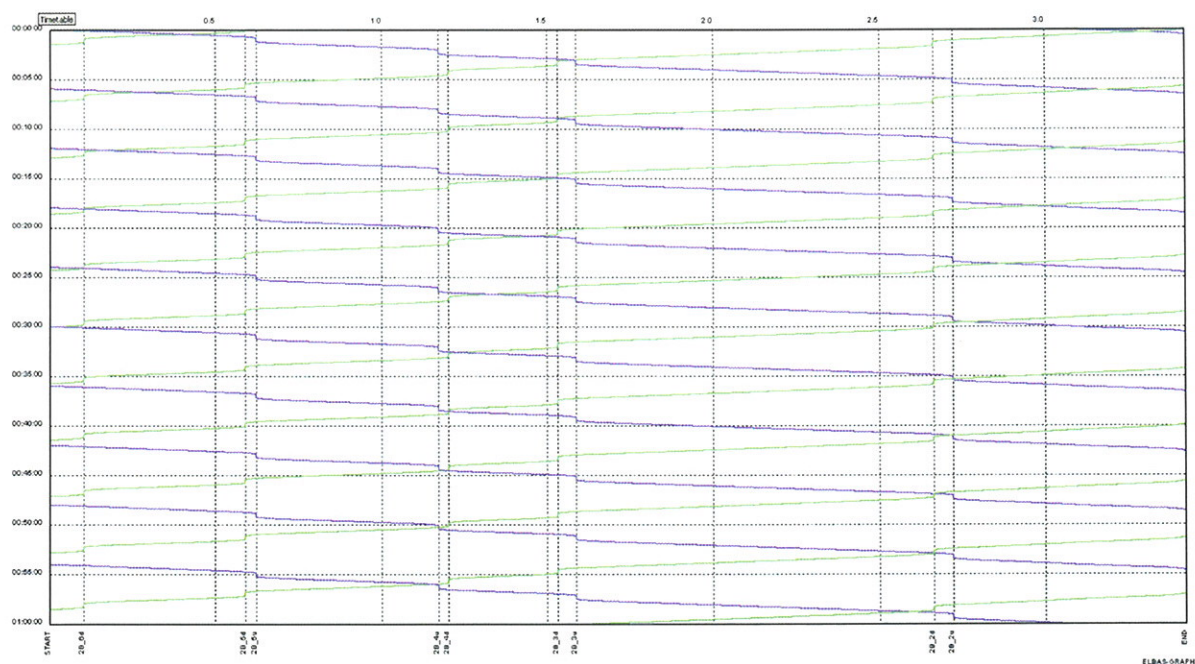


Figura 9: Tabella oraria del percorso R_2B.

Con riferimento alla figura 9, si osserva un cadenzamento pari a 6 minuti lungo l'intero percorso, in quanto è presente solo la linea L 2B.

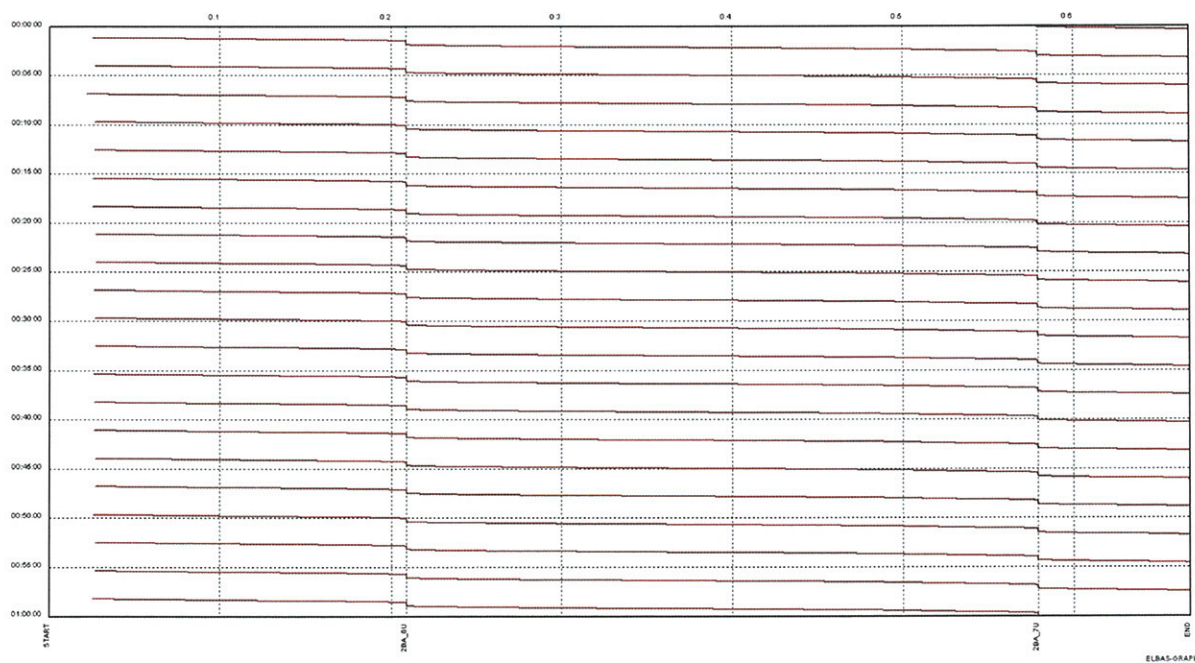


Figura 10: Tabella oraria del percorso R_NEW.

Con riferimento alla figura 10, il percorso R_NEW rappresenta la via di corsa in andata della sezione di tracciato a singolo bifilare, in quanto l'altra via di percorrenza con un tratto in viadotto è riportata nel percorso R_2AB. Si osserva un cadenzamento pari a 3 minuti lungo l'intero percorso, in quanto si sovrappongono la linea L 2A e L 2B.

5. RISULTATI SIMULAZIONE

Con le ipotesi di calcolo descritte nel paragrafo 2.1 e i dati di ingresso riportati nel capitolo 3 è stata eseguita la simulazione di dimensionamento elettrico del Sistema filoviario.

Per mantenere la tensione in linea nei limiti previsti dalla Normativa tecnica, limitando le cadute di tensione, e garantire in qualsiasi punto della rete in caso di un cortocircuito l'intervento della protezione diretta dell'interruttore extrarapido, è stato previsto lungo linea in alcune sezioni un alimentatore di rinforzo in parallelo al bifilare, di tipo ARG7H1R 1x400mm² con isolamento 1,8/3kV. Tale conduttore è posato nel cavidotto di linea; con frequenza di circa 750m, è derivata per mezzo di un giunto a "T" la connessione alla linea realizzata con un cavo di tipo 1x150 mm² FG7R, 1,8/3kV.

Al fine di ridurre la caduta di tensione e distribuire equamente le correnti sulle due linee, sono stati previsti anche dei collegamenti equipotenziali ogni circa 350m sui bifilari delle vie di corsa di andata e di ritorno; il collegamento sarà realizzato con cavo 1x150mm² di tipo FG7R 1,8/3kV per entrambe le polarità.

Nella simulazione oltre alla porzione di rete oggetto del presente progetto definitivo a base di gara, è stata eseguita anche una valutazione sulla futura estensione dell'elettrificazione verso il centro, si veda a miglior spiegazione lo schema elettrico di trazione.

La futura estensione proposta, evidenziata in rosso, sarà alimentata solo dalla S.S.E 12 e dalla S.S.E. 13, in quanto in corrispondenza dei punti di inizio estensione saranno localizzati gli isolatori di sezione, ad eccezione del tratto evidenziato anch'esso in rosso verso nord fino a Borgo Trento che verrà alimentato come naturale estensione dell'elettrificazione dalla S.S.E 4.

Per fornire l'alimentazione alla porzione di tracciato elettrificato appartenente alla futura estensione, non occorrerà eseguire nessuna modifica sull'impianto di alimentazione previsto nel progetto definitivo a base di gara, sarà necessario aggiungere solo nella S.S.E. 4 il collegamento del cavo alimentatore di rinforzo in parallelo alla linea con una risalita di alimentazione al bifilare, a circa metà sezione, si veda a miglior spiegazione lo schema elettrico di trazione.

5.1. **VERIFICA DELLA TENSIONE LUNGO OGNI PERCORSO**

Nel seguito si riportano i grafici relativi all'andamento della tensione minima lungo il tracciato suddiviso nei sei percorsi sopra descritti, si veda figura 4. Al fine di essere in accordo alla CEI EN 50163:2004 il minimo valore della tensione lungo linea deve risultare superiore a 500V.

L'eventuale porzione evidenziata in azzurro nei grafici, rappresenta la sezione di tracciato appartenenti alla futura estensione dell'elettrificazione, mentre l'andamento di colore rosso identifica la via di corsa in andata e in verde quella di ritorno.

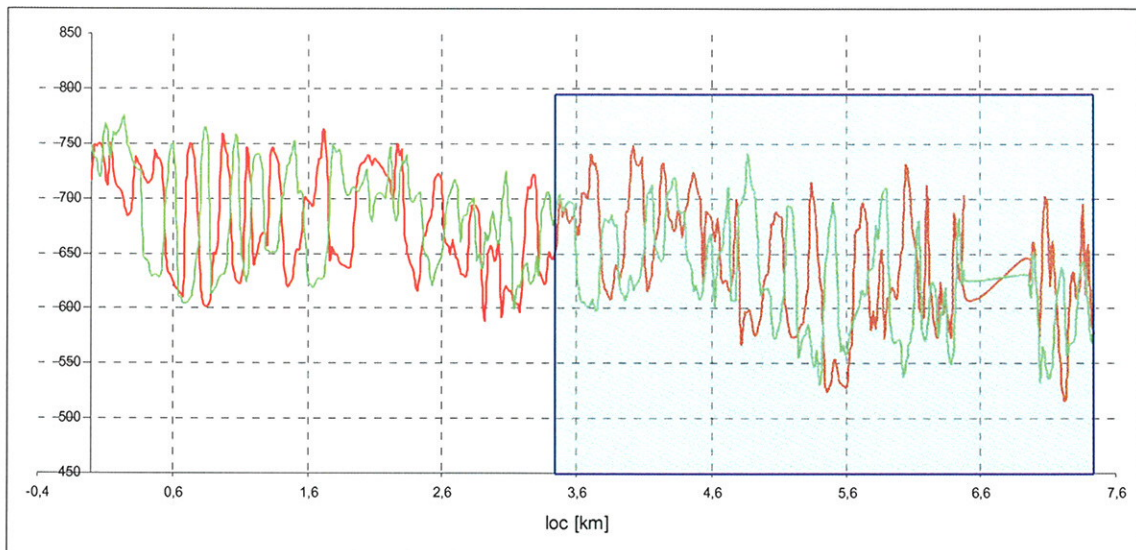


Figura 11: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_1AB.

Con riferimento alla figura 11, il valore minimo assoluto della tensione lungo linea risulta pari a 514V.

L'andamento della tensione nella sezione dal km 6,522 al km 6,920 non è da analizzare, in quanto rappresenta la porzione di rete non elettrificata, la quale compare per necessita di calcolo.

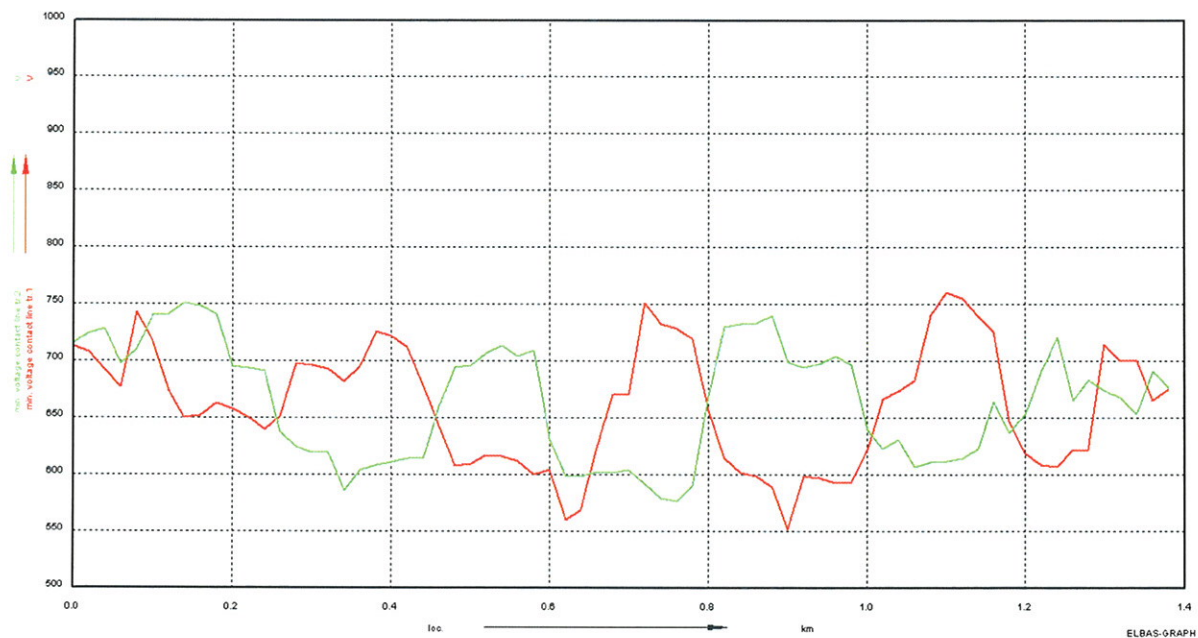


Figura 12: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_1B1.

Con riferimento alla figura 12, il valore minimo assoluto della tensione lungo linea risulta pari a 552V.

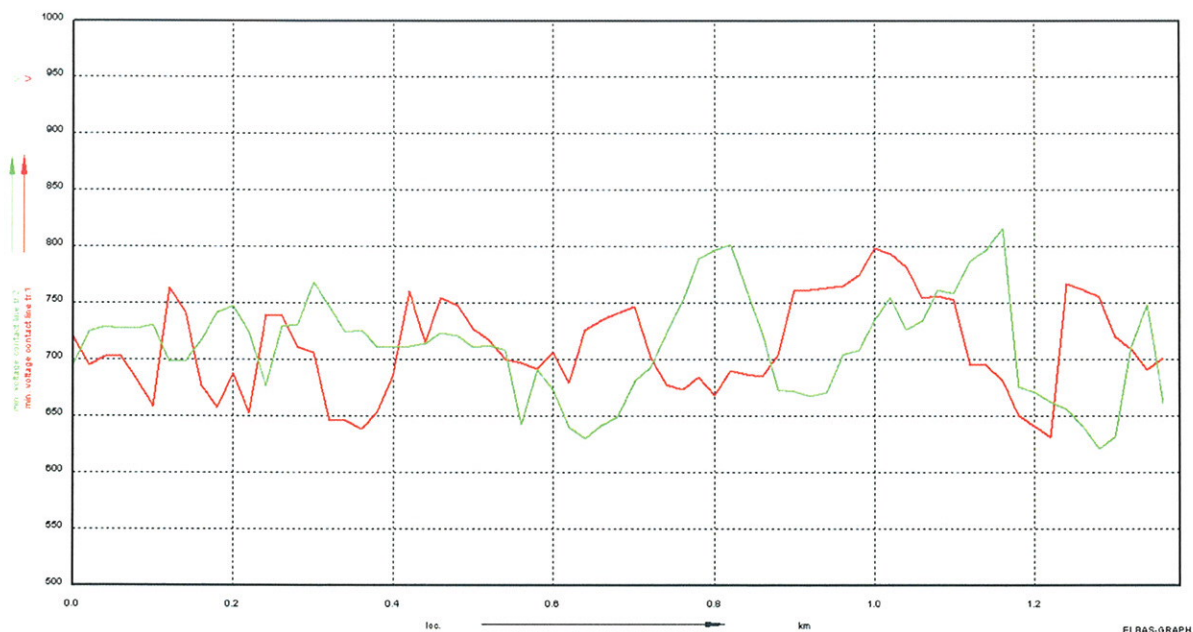


Figura 13: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_1B2.

Con riferimento alla figura 13, il valore minimo assoluto della tensione lungo linea risulta pari a 620V.

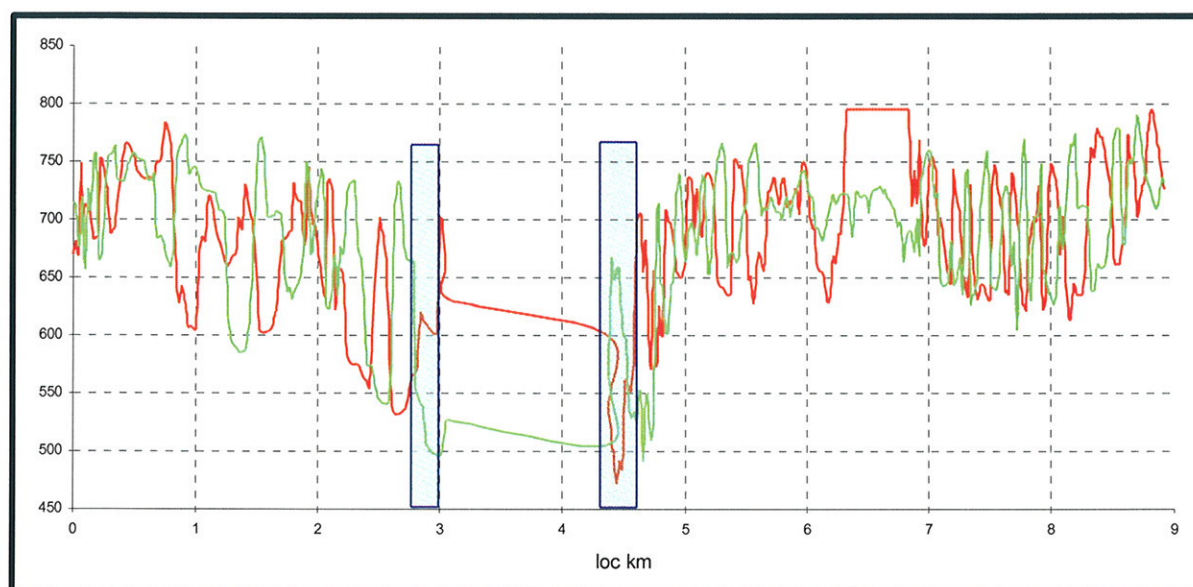


Figura 14: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_2AB.

Con riferimento alla figura 14, si osserva che per tre istanti della durata di circa 1s ciascuno, il valore minimo della tensione lungo linea, in un ora di simulazione scende sotto i 500V in prossimità del tratto successivo alla ripresa della sezione elettrificata tra la fermata 2A13 - 2B13 e 2A14 2B 14, per un intervallo di 60m, con un minimo di 471V. Si osserva, che tale fenomeno sia per la durata e sia per le caratteristiche del veicolo non pregiudica il funzionamento, garantendo quindi la continuazione della corsa senza ritardi sulla tabella oraria.

L'andamento della tensione nella sezione dal km 0,087 al km 4,345 non è da analizzare, in quanto rappresenta la porzione di rete non elettrificata, la quale compare per necessita di calcolo.

Si osserva inoltre nella figura 14 che il tratto dell'andamento in rosso, stazionario a circa 800V compreso tra il km 6 e 7 è da trascurare, in quanto rappresenta la sezione a singolo bifilare da valutare con il percorso R_NEW.

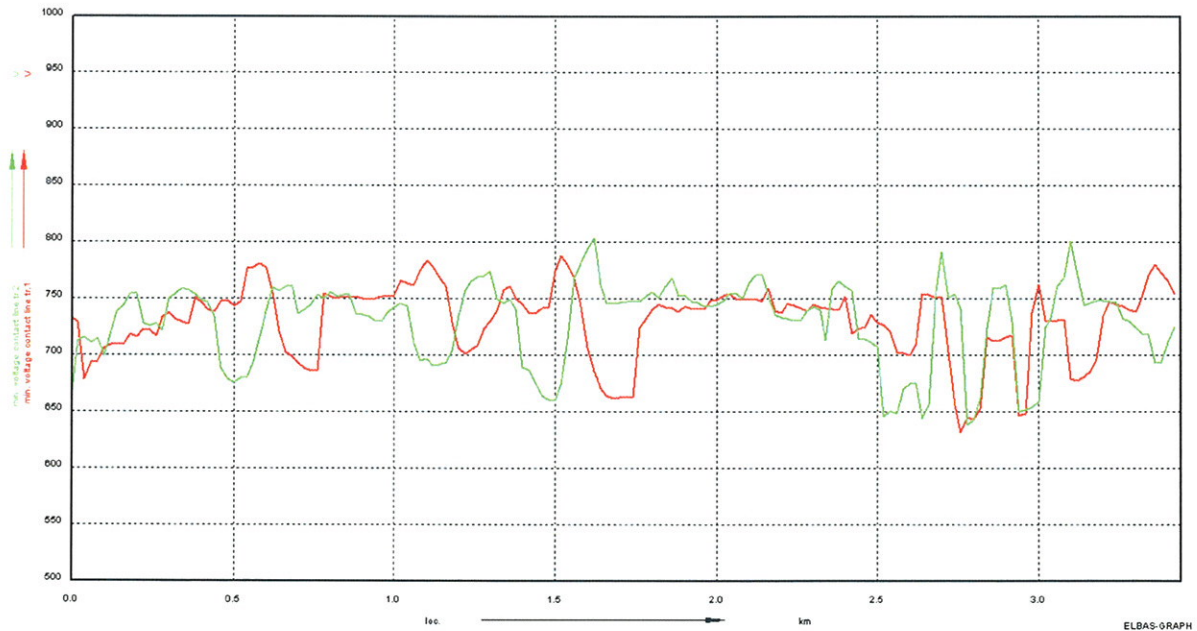


Figura 16: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_2B.

Con riferimento alla figura 16, il valore minimo assoluto della tensione lungo linea risulta pari a 632V.

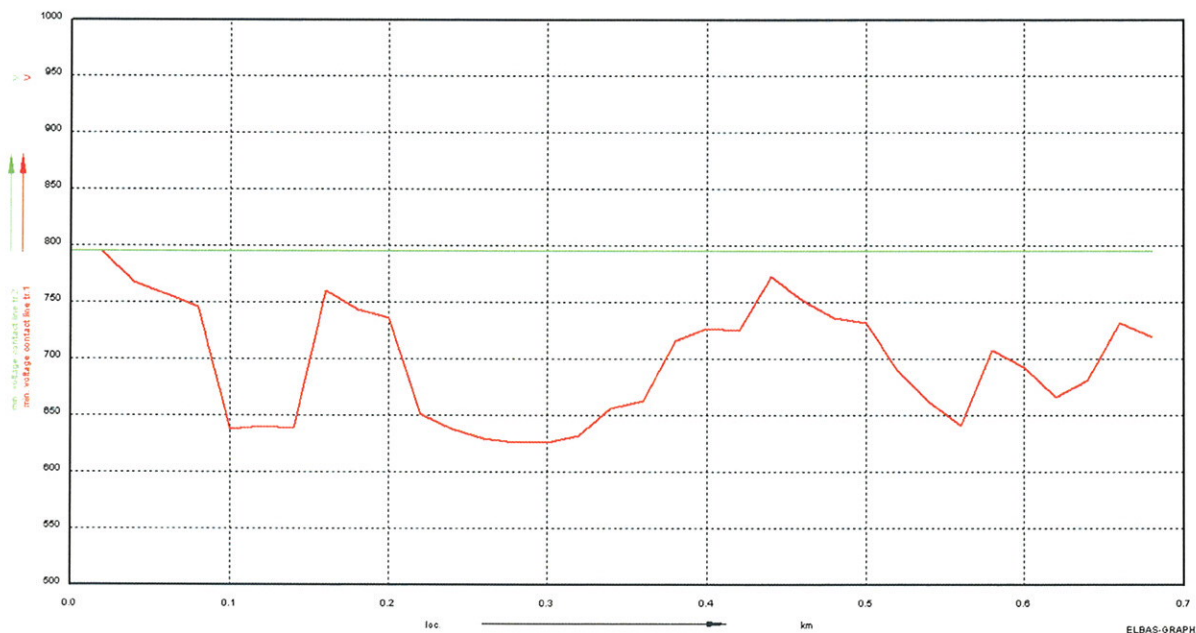


Figura 17: Andamento della tensione minima in linea lungo il percorso R_NEW.

Con riferimento alla figura 17, il valore minimo assoluto della tensione lungo linea risulta pari a 625V.

5.2. VERIFICA DIMENSIONAMENTO GRUPPO DI CONVERSIONE E CONDUTTORI

Nella tabella 2 si riportano i valori delle correnti e potenze fornite da ciascuna sottostazione, ottenuti come risultato dalla simulazione eseguita. Il valor quadratico medio "r.m.s." del carico totale di ogni sottostazione è inferiore alla potenza nominale di un trasformatore che eroga una corrente base al secondario lato continua di 1270A. Il valore massimo della corrente di ciascun alimentatore è inferiore a 1500A per i periodi più gravosi, ad eccezione per la porzione di rete appartenente alla futura estensione dell'elettrificazione verso il centro, in cui nella S.S.E. 12 è pari a 2760A e nella S.S.E. 13 è 1600A. La corrente di cortocircuito in qualsiasi circuito elettrico, ed in particolare a fine linea, risulta superiore a quella di carico massimo: questa condizione permette di poter settare opportunamente la protezione diretta dell'interruttore extrarapido, al fine di ottenere in condizioni di guasto il suo intervento.

Si osserva inoltre nelle sottostazioni senza isolatore di sezione: S.S.E. n. 1, 3, 6, 10 e 11, l'alimentazione alla linea è fornita in configurazione ridondata, in quanto l' "Alimentatore SSE_xx_P1 Positivo" è normalmente aperto e quindi di riserva, la linea è alimentata normalmente attraverso l' "Alimentatore SSE_xx_P0 Positivo".

Sottostazione		Valore Massimo	Valore r.m.s.
SSE 01	Corrente totale di sottostazione	962 A	309 A
	Potenza totale di sottostazione	705 kW	235 kW
	Alimentatore SSE_01_P0_Positivo	962 A	309
	Alimentatore SSE_01_P1_Positivo	0 A	0
SSE 02	Corrente totale di sottostazione	1560 A	558 A
	Potenza totale di sottostazione	1085 kW	417 kW
	Alimentatore SSE_02_P0_Positivo	769 A	276 A
	Alimentatore SSE_02_P1_Positivo	791 A	282 A
SSE 03	Corrente totale di sottostazione	1263 A	323 A
	Potenza totale di sottostazione	902 kW	245 kW
	Alimentatore SSE_03_P0_Positivo	1263 A	323 A
	Alimentatore SSE_03_P1_Positivo	0 A	0 A
SSE 04	Corrente totale di sottostazione	1827 A	613 A
	Potenza totale di sottostazione	1239 kW	446 kW
	Alimentatore SSE_04_P0_Positivo	970 A	194 A
	Alimentatore SSE_04_P1_Positivo	1469 A	543 A

Sottostazione		Valore Massimo	Valore r.m.s.
SSE 05	Corrente totale di sottostazione	1225 A	281 A
	Potenza totale di sottostazione	878 kW	214 kW
	Alimentatore SSE_05_P0_Positivo	1369 A	195 A
	Alimentatore SSE_05_P1_Positivo	768 A	202 A
SSE 06	Corrente totale di sottostazione	978 A	249 A
	Potenza totale di sottostazione	717 kW	191 kW
	Alimentatore SSE_06_P0_Positivo	978 A	249 A
	Alimentatore SSE_06_P1_Positivo	0 A	0 A
SSE 07	Corrente totale di sottostazione	1636 A	529 A
	Potenza totale di sottostazione	1130 kW	394 kW
	Alimentatore SSE_07_P0_Positivo	1472 A	496 A
	Alimentatore SSE_07_P1_Positivo	885 A	179 A
SSE 08	Corrente totale di sottostazione	1274 A	487 A
	Potenza totale di sottostazione	909 kW	367 kW
	Alimentatore SSE_08_P0_Positivo	1479 A	370 A
	Alimentatore SSE_08_P1_Positivo	1323 A	292 A
SSE 09	Corrente totale di sottostazione	1114 A	323 A
	Potenza totale di sottostazione	806 kW	246 kW
	Alimentatore SSE_09_P0_Positivo	632 A	169 A
	Alimentatore SSE_09_P1_Positivo	611 A	158 A
SSE 10	Corrente totale di sottostazione	1080 A	234 A
	Potenza totale di sottostazione	784 kW	178 kW
	Alimentatore SSE_10_P0_Positivo	1080 A	234 A
	Alimentatore SSE_10_P1_Positivo	0 A	0 A
SSE 11	Corrente totale di sottostazione	830 A	271 A
	Potenza totale di sottostazione	616 kW	208 kW
	Alimentatore SSE_11_P0_Positivo	830 A	271 A
	Alimentatore SSE_11_P1_Positivo	0 A	0 A
SSE 12	Corrente totale di sottostazione	3141 A	1037 A
	Potenza totale di sottostazione	1866 kW	725 kW
	Alimentatore SSE_12_P0_Positivo	1460 A	525 A
	Alimentatore SSE_12_P1_Positivo	2760 A	639 A
SSE 13	Corrente totale di sottostazione	2063 A	858 A
	Potenza totale di sottostazione	1367 kW	622 kW
	Alimentatore SSE_13_P0_Positivo	1565 A	424 A
	Alimentatore SSE_13_P1_Positivo	1600 A	608 A

Tabella 2: Valori massimi ed "r.m.s" delle correnti e potenze fornite da ogni sottostazione.

Le taglie delle apparecchiature proposte sono pertanto verificate, si rimanda per le loro caratteristiche tecniche alla Relazione Tecnica del Sistema di alimentazione, documento PD E0300 RT01A.

Si osserva inoltre nella Tabella 2 che, ad eccezione delle SSE n. 12 e 13, il valore rms della corrente negli alimentatori è sempre inferiore a 377A (portata di un cavo $1 \times 120 \text{ mm}^2$), è stato comunque previsto l'utilizzo di due cavi in parallelo di sezione $1 \times 120 \text{ mm}^2$, per poter assicurare così il mantenimento del pieno esercizio anche nel caso di guasto di uno dei due cavi, e consentendo un ciclo di vita più lungo ai cavi stessi.

Il massimo valore rms (quadratico medio) della corrente nei fili di contatto ed in ciascuno dei cavi componenti gli alimentatori di rinforzo, positivi e negativi, è riportato per ogni percorso nelle figure qui di seguito.

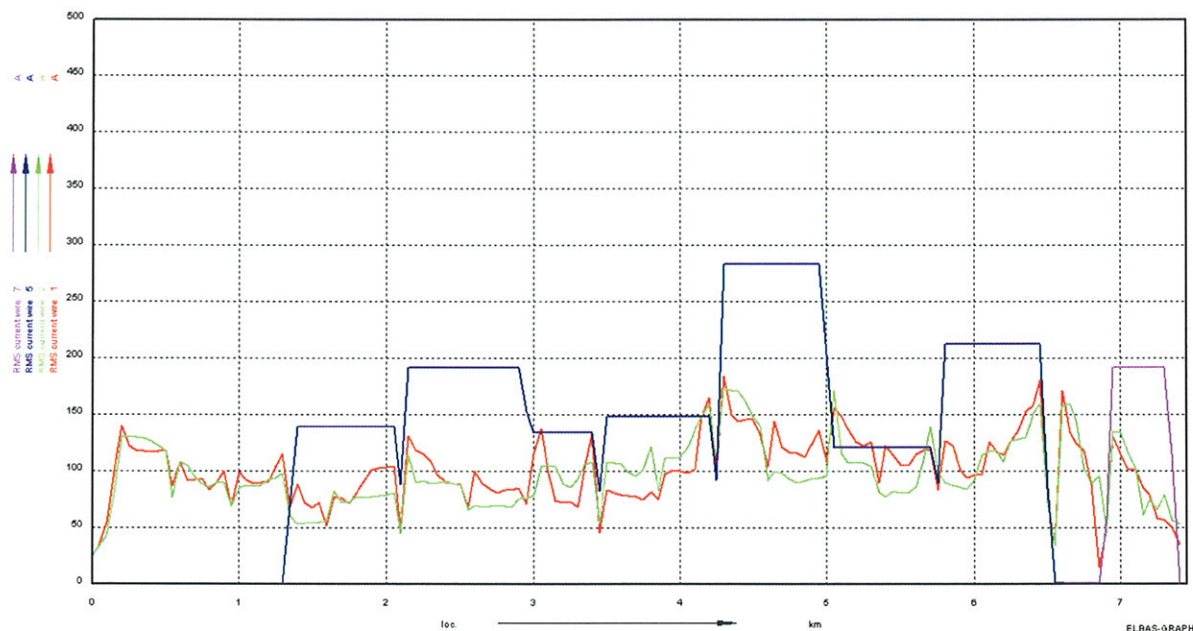


Figura 18: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1", di ritorno "2" e nell'alimentatore di rinforzo lungo linea nel percorso R_1AB.

Cavo $1 \times 400 \text{ mm}^2$:	284 A (un singolo cavo per polarità presente dal km 1.385 circa al km 6,520)
Cavo $1 \times 400 \text{ mm}^2$:	284 A (per ciascuno dei due cavi in parallelo per polarità presenti dal km 6.922 fino alla fine del percorso)
Filo di contatto 100 mm^2 :	184 A

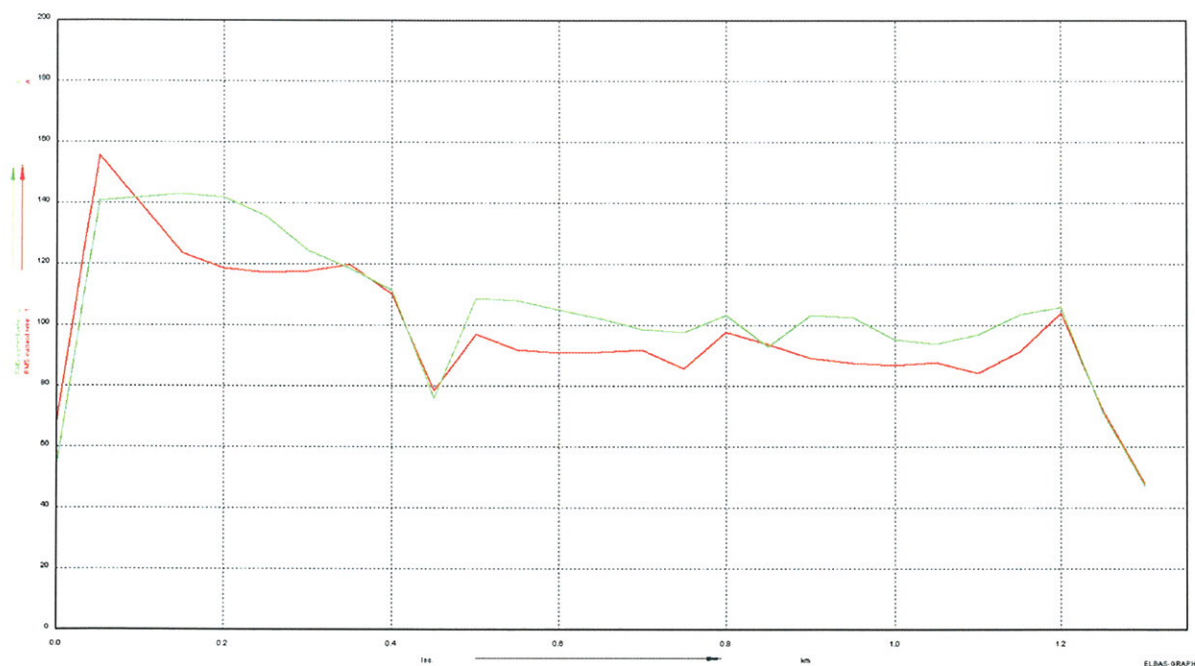


Figura 19: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1" e di ritorno "2" nel percorso R_1B1.

Filo di contatto 100 mm²: 156 A

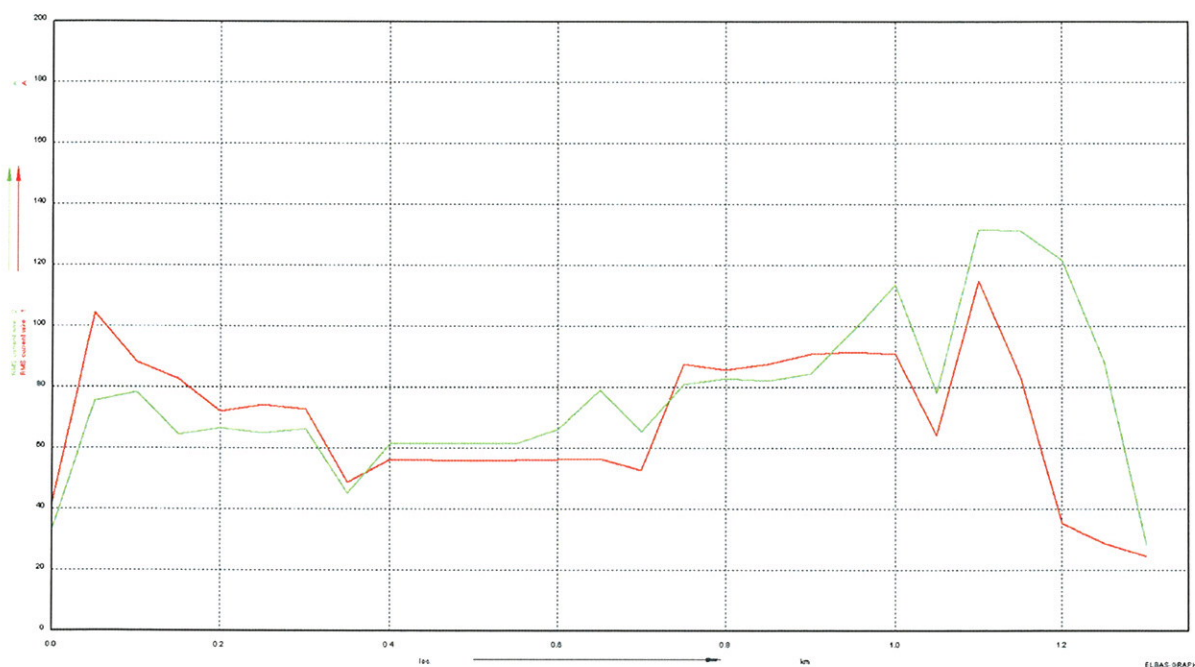


Figura 20: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1" e di ritorno "2" nel percorso R_1B2.

Filo di contatto 100 mm²: 132 A

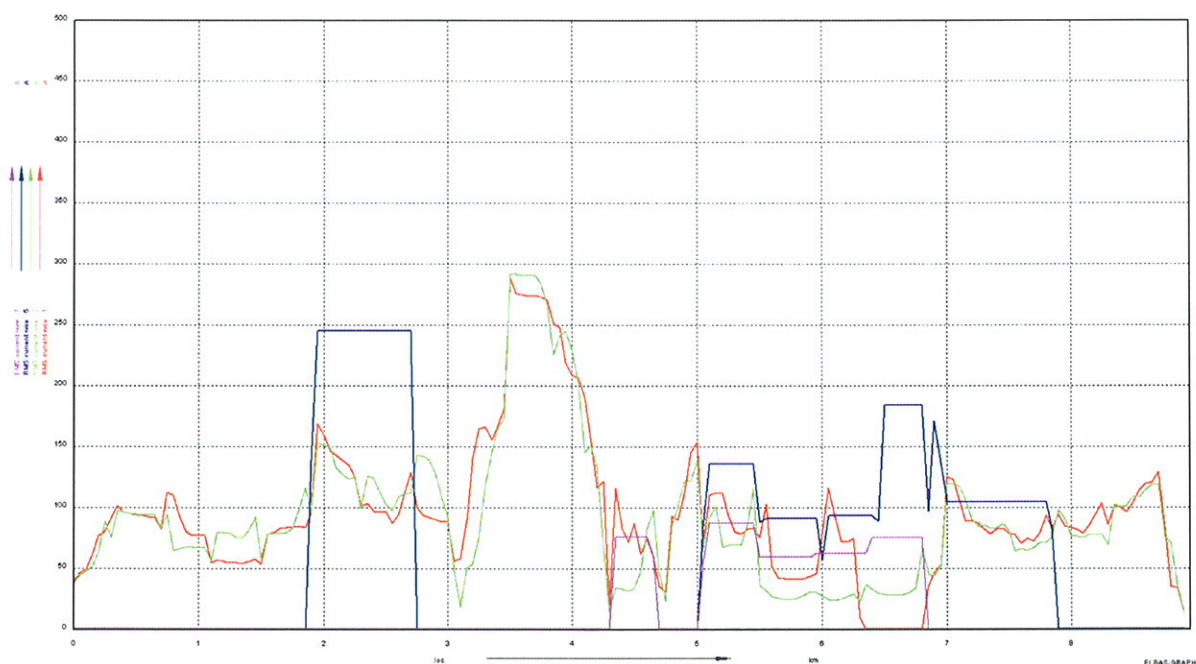


Figura 21: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1", di ritorno "2", e negli alimentatori di rinforzo lungo linea nel percorso R_2AB.

Cavo 1x400 mm ² :	246 A (un cavo per polarità presente dal km 1,910 al km 2,750 circa, da prevedere <u>solo</u> in presenza della futura estensione dell'elettrificazione al cetro)
Cavo 1x400 mm ² :	76 A (per ciascuno dei due cavi in parallelo per polarità presenti dal km 4.110 al 4,750 circa)
Cavo 1x400 mm ² :	184 A (un cavo per polarità presente dal km 5,056 al 6,850 circa, nel tratto di linea a singolo bifilare "via di andata" compresa tra la S.S.E. 7 e la S.S.E. 8)
Cavo 1x400 mm ² :	87 A (un cavo per polarità presente dal km 5,056 al 6,306 circa, nel tratto di linea a singolo bifilare "via di ritorno" compresa tra la S.S.E. 7 e la S.S.E. 8)
Cavo 1x400 mm ² :	105 A (un cavo per polarità presente dal km 6,860 al 7,890 circa)
Filo di contatto 100 mm ² :	291 A

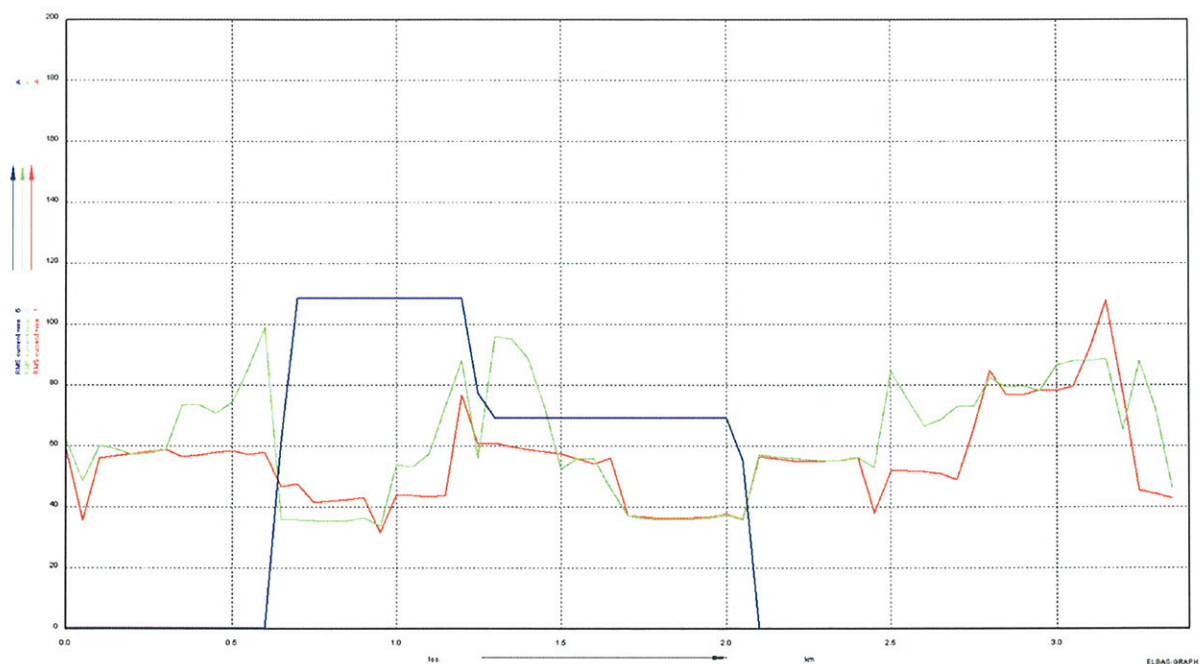


Figura 22: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1", di ritorno "2", e nell' alimentatore di rinforzo lungo linea nel percorso R_2B.

Cavo 1x400 mm²: 109 A (un cavo per polarità presente dal km 0,860 al
al 2,090 circa,)

Filo di contatto 100 mm²: 108 A

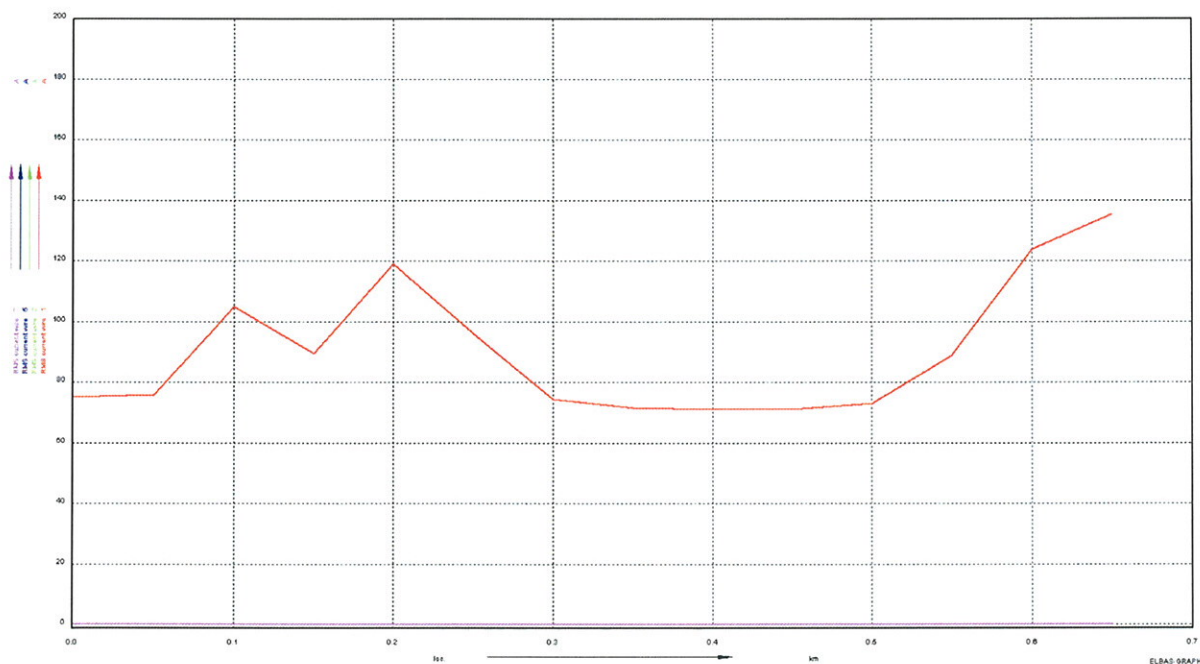


Figura 23: Valore quadratico medio della corrente nel filo positivo della via di andata "1" e nell' alimentatore di rinforzo lungo linea nel percorso R_NEW.

Filo di contatto 100 mm²: 136 A

Si osserva dalla visione delle figure 18, 19, 20, 21, 22 e 23 che il cavo ausiliario 1x400mmq in Al è apparentemente sovradimensionato, in quanto la portata nominale è circa 649A, però valutando la tipologia di carico in oggetto, permette di sopportare i picchi di carico senza sollecitare eccessivamente l'isolamento del cavo, evitando di accelerare il suo processo di invecchiamento.