

COMMITTENTE:



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

IL DIRETTORE FUNZIONALE
Dott. Ing. Diego Galiazzo

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Arch. Gaetano Panetta

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE



MANDANTE



ITALFERR

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

TRAZIONE ELETTRICA

Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:




-

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

NP000 00 D 18 SD SE0000 001 A





Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Laurini	Apr.2020	N. Carones	Apr.2020	A. Peresso	Apr.2020	G. Guidi Buffarini Apr. 2020

ITALFERR s.p.a.
U.O. Progettazione
Ing. Gaetano Panetta
Ordine Ingegneri Padova
n° 17912


 MANDANTE  MANDANTE 	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO												
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>2 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	2 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	2 di 34								

INDICE

1	INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO	4
2	SCOPO.....	6
3	NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3.2	RIFERIMENTI PROGETTUALI.....	6
4	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ELETTRICO DI TRAZIONE.....	7
4.1	GENERALITÀ.....	7
4.2	DATI DI BASE	8
	4.2.1 <i>Modello di esercizio</i>	8
	4.2.2 <i>Caratteristiche di tracciato</i>	9
4.3	SIMULAZIONE DI MARCIA.....	12
4.4	CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI FISSI DI TRAZIONE ELETTRICA.....	13
4.5	CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO (LDC).....	14
4.6	CARATTERISTICHE DEGLI ALIMENTATORI “POSITIVO”.....	15
4.7	CARATTERISTICHE DEL CIRCUITO DI RITORNO “NEGATIVO”	16
5	VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE.....	17
5.1	VERIFICA DELLE TENSIONI AL PANTOGRAFO	18
5.2	VERIFICA DEGLI ASSORBIMENTI IN CIASCUNA SSE.....	18
	5.2.1 <i>SSE Viale della Pace - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio</i>	19
	5.2.2 <i>SSE di Forcellini - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio</i>	20
	5.2.3 <i>SSE di Voltabarozzo - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio</i>	20
5.3	VERIFICA TERMICA DELLA CATENARIA.....	21

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> SDAprogetti ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> ENTRECI INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> PINI SWISS</p>	<p style="text-align: center;">PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>3 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	3 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	3 di 34								

5.4	VERIFICA TERMICA DEGLI ALIMENTATORI E DEL NEGATIVO IN USCITA DALLE SSE	22
5.5	VERIFICA TERMICA DEI CAVI DI COLLEGAMENTO DA 120MM ²	23
5.6	VERIFICA DEL POTENZIALE DI BINARIO	30
5.7	CALCOLO DEL CORTOCIRCUITO IN SSE	32
5.8	DIMENSIONAMENTO DEGLI SCHERMI	33
6	CONCLUSIONI	34

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ENTREO</p> <p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">SD</td> <td style="text-align: center;">SE0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">4 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	4 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	4 di 34								

1 INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO

Oggetto del seguente Appalto, è la progettazione Definitiva della linea tramviaria SIR 3 della città di Padova.

La linea si estenderà tra la stazione ferroviaria centrale e la periferia, in località Voltabarozzo.

La lunghezza complessiva del tracciato è di circa 5,4km su percorso cittadino con le differenti tipologie di percorso:

- Su corsia dedicata;
- Su corsia dedicata ai mezzi pubblici
- Su corsia promiscua al trasporto pubblico e privato.

Inoltre, oltre ai 2 capolinea, saranno previste 11 fermate intermedie dislocate lungo il tracciato.

La linea sarà alimentata con sistema 750Vcc, e sarà dotata della medesima tecnologia e sistema del SIR 1 del tipo “Translohr”.

Nei pressi della stazione ferroviaria FS, la nuova linea SIR 3 si interconetterà con la linea tramviaria esistente SIR 1. L’interconnessione permetterà il transito dei mezzi dalla linea linea SIR 1 alla linea SIR 3. Pertanto, l’attrezzaggio tecnologico della nuova linea dovrà essere compatibile con la linea esistente permettendo l’interoperabilità del materiale rotabile.

La linea SIR 2, non sarà oggetto del seguente Appalto, ma nella progettazione e nella realizzazione del SIR 3, oltre a prevedere l’integrazione con il SIR 1, si terrà conto che la futura linea transiterà per un tratto sul SIR 3.



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>					
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>		<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>5 di 34</p>



Figura 1 - Inquadramento Territoriale SIR1, SIR2 e SIR 3

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 6 di 34

2 SCOPO

La presente relazione tecnica presenta il dimensionamento del sistema elettrico di trazione della nuova Linea tramviaria **SIR 3** della città di Padova.

3 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Riferimenti Normativi



Nel seguito è riportato l'elenco delle norme d'interesse per l'analisi della potenzialità del sistema elettrico:

- N. 1301/2014** STI Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema «Energia»;
- EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
- EN 50163** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione;
- EN 50388** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Alimentazione elettrica e materiale rotabile - Criteri tecnici per il coordinamento tra l'alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità.

3.2 Riferimenti Progettuali

Di seguito si riportano i documenti di progetto ai quali si farà riferimento nella lettura del documento:

- **NP0000D18DXTE0000001A** – Schema TE

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>7 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	7 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	7 di 34								

4 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ELETTRICO DI TRAZIONE

4.1 Generalità

Il dimensionamento e l'ideoneità del sistema elettrico di trazione è stata sviluppata attraverso l'ausilio di software dedicati di proprietà Italferr S.p.A., ampiamente utilizzati per validare la progettazione degli impianti di trazione elettrica delle linee ferroviarie dei sistemi in corrente continua ed alternata. RFI, il proprietario dell'infrastruttura ferroviaria italiana, ha confermato i risultati di calcolo della suite di software durante le fasi di attivazione nel processo di certificazione delle Linee ferroviarie conformi alle Specifiche Tecniche d'Interoperabilità (STI). Inoltre, i software sono stati validati attraverso la procedura interna conformemente alla norma ISO 9001.

L'ideoneità del sistema elettrico è stata analizzata con particolare riferimento ai valori di tensione (media, utile e minima) al pantografo e alla compatibilità del carico elettrico sulle apparecchiature degli impianti fissi di trazione.

La verifica delle prestazioni del sistema elettrico è stata realizzata analizzando:

- Condizione di funzionamento in “**servizio normale**”: Si assume che tutte le Sottostazioni elettriche di conversione sono in servizio;
- Condizione di funzionamento in “**servizio degradato**”: Si assume il fuori servizio ciclico completo di una Sottostazione elettrica di conversione.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 8 di 34

4.2 Dati di base

4.2.1 Modello di esercizio

Il dimensionamento degli impianti fissi di trazione elettrica è basato sul Modello di Esercizio a Regime, che costituisce il carico elettrico alla base della simulazione, prospettato per l'itinerario Stazione FS – Voltabarozzo.

Coerentemente a quanto riportato nel progetto preliminare, nella simulazione elettrica è stato considerato un cadenzamento pari a 10 minuti (6 corse / ora) impiegando mezzi del tipo Translohr STE3 (composizione a 3 casse) in analogia ai mezzi utilizzati ad oggi sulla Linea SIR1.

Nella tabella seguente sono riportati i dati significativi del materiale rotabile alla base della simulazione:

Caratteristiche del Materiale Rotabile	
Denominazione	Translohr STE3
Velocità massima	70 km/h
Tensione nominale linea	750 V
Potenza servizi Ausiliari nella simulazione è stato considerato il caso più gravoso che prevede 82kW di assorbimento degli impianti di climatizzazione (cfr. D00007420/W) e 18kW di carica batteria (cfr. as built Materiale rotabile SIR1)	100 kW
Massa Complessiva	37,2 t
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05
Decelerazione costante in piano	1,30 m/s ²
Rendimento	0,9

Tabella 1 – Caratteristiche del materiale rotabile

I dati sono stati estrapolati dai seguenti documenti:

- **D00007420/W** – Specifica delle interfacce – Infrastruttura e materiale rotabile e installazioni fisse di guida
- **As built Materiale rotabile SIR1**

Infine, si fa presente che è stata utilizzata la curva di prestazione sforzo di trazione/velocità riportata sul documento “As built Materiale rotabile SIR1”.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>9 di 34</p>



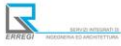

4.2.2 Caratteristiche di tracciato

Alla base del presente studio vi è l'implementazione del profilo piano-altimetrico della linea completo delle informazioni relative alle velocità di tracciato.





Il tracciato simulato si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 5,4 km su percorso cittadino.

Nella tabella seguente sono riportate le progressive chilometriche e le pendenze dei tratti analizzati per il senso di percorrenza "dispari" tra la stazione di Padova ed il Capolinea sito a Voltabarozzo.

da pk [m]	a pk [m]	Distanza parziale	Pendenza ‰
+0,00	+0,00	+0,00	0,00
+0,00	+50,00	+50,00	0,00
+50,00	+100,00	+50,00	-1,00
+100,00	+150,00	+50,00	-1,40
+150,00	+200,00	+50,00	-2,00
+200,00	+250,00	+50,00	1,40
+250,00	+300,00	+50,00	1,40
+300,00	+350,00	+50,00	-1,40
+350,00	+350,00	+0,00	-1,40
+350,00	+400,00	+50,00	-1,40
+400,00	+450,00	+50,00	2,00
+450,00	+500,00	+50,00	2,00
+500,00	+550,00	+50,00	2,00
+550,00	+600,00	+50,00	2,00
+600,00	+650,00	+50,00	5,00
+650,00	+700,00	+50,00	16,40
+700,00	+700,00	+0,00	16,40
+700,00	+750,00	+50,00	17,20
+750,00	+800,00	+50,00	5,00
+800,00	+850,00	+50,00	-7,40
+850,00	+900,00	+50,00	-10,20
+900,00	+950,00	+50,00	-9,00
+950,00	1+000,00	+50,00	-4,80
1+000,00	1+050,00	+50,00	1,80
1+050,00	1+100,00	+50,00	4,80
1+100,00	1+150,00	+50,00	3,80
1+150,00	1+200,00	+50,00	3,40
1+200,00	1+250,00	+50,00	1,40
1+250,00	1+300,00	+50,00	3,60
1+300,00	1+300,00	+0,00	3,60
1+300,00	1+350,00	+50,00	-6,00
1+350,00	1+400,00	+50,00	-1,40
1+400,00	1+450,00	+50,00	3,80
1+450,00	1+500,00	+50,00	3,40
1+500,00	1+550,00	+50,00	3,60
1+550,00	1+600,00	+50,00	3,40
1+600,00	1+650,00	+50,00	2,00
1+650,00	1+700,00	+50,00	0,00
1+700,00	1+750,00	+50,00	-9,00
1+750,00	1+800,00	+50,00	-2,40

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>					<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>		<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>10 di 34</p>

da pk [m]	a pk [m]	Distanza parziale	Pendenza ‰
1+800,00	1+800,00	+0,00	-2,40
1+800,00	1+850,00	+50,00	-1,60
1+850,00	1+900,00	+50,00	-3,00
1+900,00	1+950,00	+50,00	-4,60
1+950,00	2+000,00	+50,00	-5,00
2+000,00	2+050,00	+50,00	-10,60
2+050,00	2+100,00	+50,00	-10,00
2+100,00	2+150,00	+50,00	-3,00
2+150,00	2+150,00	+0,00	-3,00
2+150,00	2+200,00	+50,00	-2,00
2+200,00	2+250,00	+50,00	-2,00
2+250,00	2+300,00	+50,00	-3,40
2+300,00	2+350,00	+50,00	0,40
2+350,00	2+400,00	+50,00	0,40
2+400,00	2+450,00	+50,00	-0,40
2+450,00	2+500,00	+50,00	-10,00
2+500,00	2+550,00	+50,00	10,60
2+550,00	2+600,00	+50,00	4,40
2+600,00	2+600,00	+0,00	4,40
2+600,00	2+650,00	+50,00	2,40
2+650,00	2+700,00	+50,00	-3,80
2+700,00	2+750,00	+50,00	-6,40
2+750,00	2+800,00	+50,00	-8,20
2+800,00	2+850,00	+50,00	2,20
2+850,00	2+850,00	+0,00	2,20
2+850,00	2+900,00	+50,00	2,60
2+900,00	2+950,00	+50,00	-2,60
2+950,00	3+000,00	+50,00	-2,80
3+000,00	3+050,00	+50,00	-2,80
3+050,00	3+100,00	+50,00	3,20
3+100,00	3+150,00	+50,00	3,20
3+150,00	3+200,00	+50,00	-1,20
3+200,00	3+200,00	+0,00	-1,20
3+200,00	3+250,00	+50,00	-1,00
3+250,00	3+300,00	+50,00	8,40
3+300,00	3+350,00	+50,00	4,60
3+350,00	3+400,00	+50,00	0,40
3+400,00	3+450,00	+50,00	0,40
3+450,00	3+500,00	+50,00	0,40
3+500,00	3+550,00	+50,00	-3,20
3+550,00	3+600,00	+50,00	-5,60
3+600,00	3+650,00	+50,00	2,20
3+650,00	3+650,00	+0,00	2,20
3+650,00	3+700,00	+50,00	4,80
3+700,00	3+750,00	+50,00	12,40
3+750,00	3+800,00	+50,00	-0,20
3+800,00	3+850,00	+50,00	-11,80
3+850,00	3+900,00	+50,00	2,00
3+900,00	3+950,00	+50,00	3,40
3+950,00	4+000,00	+50,00	15,20
4+000,00	4+050,00	+50,00	44,00
4+050,00	4+100,00	+50,00	41,00
4+100,00	4+150,00	+50,00	10,40

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	MANDANTE 				
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 11 di 34



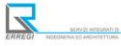

da pk [m]	a pk [m]	Distanza parziale	Pendenza ‰
4+150,00	4+200,00	+50,00	0,20
4+200,00	4+250,00	+50,00	-3,40
4+250,00	4+300,00	+50,00	-31,20
4+300,00	4+350,00	+50,00	-48,00
4+350,00	4+400,00	+50,00	-44,00
4+400,00	4+450,00	+50,00	-15,00
4+450,00	4+500,00	+50,00	12,40
4+500,00	4+550,00	+50,00	6,20
4+550,00	4+600,00	+50,00	16,60
4+600,00	4+650,00	+50,00	-20,60
4+650,00	4+700,00	+50,00	0,80
4+700,00	4+700,00	+0,00	0,80
4+700,00	4+750,00	+50,00	-1,40
4+750,00	4+800,00	+50,00	-7,00
4+800,00	4+850,00	+50,00	-5,40
4+850,00	4+900,00	+50,00	2,80
4+900,00	4+950,00	+50,00	4,40
4+950,00	5+000,00	+50,00	-0,80
5+000,00	5+050,00	+50,00	-1,00
5+050,00	5+100,00	+50,00	2,20
5+100,00	5+150,00	+50,00	-0,80
5+150,00	5+150,00	+0,00	-0,80
5+150,00	5+200,00	+50,00	-1,00
5+200,00	5+250,00	+50,00	-1,00
5+250,00	5+300,00	+50,00	-1,00
5+300,00	5+300,00	+0,00	-1,00
5+300,00	5+350,00	+0,00	0,00
5+350,00	5+400,00	+0,00	0,00

Tabella 2 – Profilo altimetrico del tracciato senso di marcia dispari (stazione-Voltabarozzo)

Inoltre, oltre ai 2 capolinea, saranno previste 11 fermate intermedie dislocate lungo il tracciato riportate alle seguenti progressive chilometriche come mostrato nella tabella seguente:

N° fermata	pk	Località
1	+0,00	STAZIONE FS
2	+356,00	PACE
3	+701,00	GOZZI
4	1+309,00	MORGAGNI
5	1+830,00	OSPEDALE
6	2+164,00	SOGRAFI
7	2+610,00	FORCELLINI
8	2+870,00	S. ANTONIO
9	3+209,00	P.IRIS
10	3+628,00	CORNARO
11	4+708,00	NANI
12	5+132,00	PIOVESE
13	5+400,00	VOLTABAROZZO

Tabella 3 – Progressive chilometriche fermate SIR3

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>MANDANTE</p> 	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>12 di 34</p>

4.3 Simulazione di marcia

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle simulazioni di marcia per la determinazione della caratteristica cinematica, della potenza e dell'energia assorbita dai tram sulla tratta in esame:

	Translohr STE3	Translohr STE3
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari
	Stazione FS - Voltabarozzo	Voltabarozzo - Stazione FS
Energia totale assorbita [kWh]	48.18	47.97
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	8.92	8.88
Potenza media per treno [kW]	182.26	182.52

Tabella 4 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia

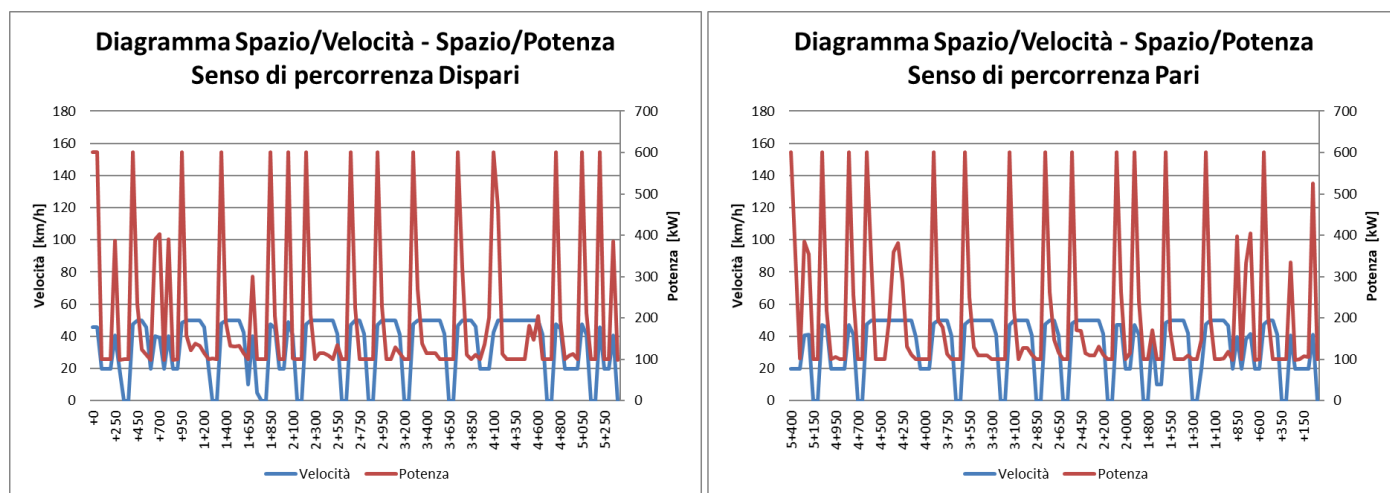


Figura 2 - Caratteristiche Spazio/Velocità - Spazio/Potenza

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	13 di 34

4.4 Caratteristiche degli impianti fissi di trazione elettrica

La linea SIR 3, coerentemente a quanto previsto nel Progetto Preliminare, sarà alimentata da n.3 Sottostazioni elettriche di trazione localizzate ad inizio, metà e fine tratta come riportato nelle progressive mostrate nella tabella.

SSE		
Nome	Potenza installata	Pk
SSE Viale della Pace	1 x 1,5 MW	+150
SSE Forcellini	1 x 1,5 MW	2+600
SSE Voltabarozzo	1 x 1,5 MW	5+400

Tabella 5 - Posizione delle sottostazioni elettriche di trazione

Le caratteristiche elettriche delle apparecchiature presenti in sottostazione sono di seguito elencate:

	Singolo Gruppo da 1,5 MW
Potenza nominale [kVA] Trasformatore	1620/2x590 Dy11/Dd0 – Vcc 8%
Potenza nominale [kW] raddrizzatore	1500
Caratteristiche di sovraccarico conformi alla norma EN 50329 Duty Class VII	1 p.u. di I_B - continua 1,5 p.u. di I_B - 2h (ogni 3 ore) 4,5 p.u. di I_B - 15sec. (ogni 1800sec.)
Tensione nominale [V]	750
Corrente nominale [A]	2000
Resistenza int. equivalente [Ω]	0,034
Tensione a Vuoto [V]	840


Tabella 6 - Caratteristiche elettriche apparecchiature SSE

Nel documento **NP0000D18DXTE0000001A** – Schema TE, è riportata l'architettura elettrica di sistema che riporta i dettagli sopra menzionati.

Con l'obiettivo di ottemperare alle prescrizioni della norma EN 50122-2, l'officina di manutenzione localizzata presso Voltabarozzo, sarà alimentata da un gruppo di conversione a 750V dedicato e separato dalla Linea. Attraverso l'ausilio di appositi sezionatori, sarà possibile gestire l'alimentazione della catenaria interna all'officina per permettere la corretta manutenzione sui rotabili.

Si rileva che la SSE di Via della Pace come prevista da Progetto preliminare, dista circa 400m dalla SSE esistente FS a servizio della linea SIR1. Tale SSE è dimensionata per soddisfare il fabbisogno energetico della linea SIR 1 e SIR 3. Inoltre, l'impianto presenta margini di potenzialità da dedicare alla linea SIR 2. Infine, considerando che la futura Linea SIR 2 si interconetterà sul SIR 3 in corrispondenza di Via Niccolò Tommaseo, sono previste, in questa fase progettuale nella nuova SSE di Via della Pace, idonee apparecchiature di protezione e sezionamento (interruttori extrarapidi e sezionatori) come predisposizione per la futura connessione.

Il parallelo delle SSE determina tuttavia un incremento delle correnti di guasto che potrebbe danneggiare le attuali apparecchiature esistenti sul SIR1. Visti gli attuali e ridotti assorbimenti di potenza registrati nella SSE FS esistente e con l'obiettivo di mantenere al disotto di valori critici la corrente di guasto, il presente progetto si sviluppa con l'ipotesi di gestire l'attuale SSE FS come Cabina TE, con il gruppo esistente in riserva fredda.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> 		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
<p>MANDANTE</p> 	<p>MANDANTE</p> 					<p>MANDANTE</p> 	
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione		COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 14 di 34

In questo scenario la SSE di Via della Pace erogherà energia a servizio del SIR 3 ed a servizio del SIR1. Mentre la SSE FS esistente sarà funzionante come Cabina TE e gestirà la protezione del bivio tra il SIR1 ed il SIR3.

In caso di fuori servizio della SSE di Via della Pace, potrà essere inserito il gruppo di conversione della SSE FS attuale che erogherà l'energia a servizio del SIR 3 ed a servizio del SIR1.

Inoltre, in caso di esigenze legate all'esercizio, potrà essere attivato il sezionamento localizzato in corrispondenza del bivio SIR1/SIR3 per tenere completamente separate le linee di alimentazione. In questo scenario, entrambe le SSE potranno erogare potenza, ma il tram dovrà percorrere il sezionamento a pantografo abbassato.

4.5 Caratteristiche della linea di contatto (LdC)

La catenaria a servizio della linea SIR 3 prevede l'utilizzo di un filo di contatto da 120mm² conforme alla norma EN 50149 con le seguenti caratteristiche elettriche:

Materiale	Sez. Nominale	Resistività 40 °C	Resistenza 40°C	Sovratemperatura ammissibile	Portata
Unità di misura	mm ²	Ωmm 10 ⁻⁶	Ω /km	°C	A
CUETP	120	19.19	0.2 (con usura del 20%)	40	380 (con usura del 20%)

Tabella 7 – Caratteristiche elettriche della catenaria

Coerentemente a quanto previsto nel Progetto Preliminare, saranno previsti due tratti in cui non sarà installata la catenaria. In queste porzioni di tracciato, il materiale rotabile percorrerà il tracciato della linea a pantografo abbassato, utilizzando l'alimentazione delle batterie previste a bordo tram.

Nel dettaglio saranno “catenary free” i tratti interposti tra le seguenti fermate:

- Gozzi – Morgagni: con lunghezza complessiva di circa 600m
- S. Antonio - Cornaro: con lunghezza complessiva di circa 740m.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO												
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>15 di 34</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	15 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	15 di 34								

4.6 Caratteristiche degli alimentatori “Positivo”

Con l’obiettivo di limitare le cadute di tensione, il sistema elettrico di trazione prevede l’utilizzo di un alimentatore in parallelo a ciascuna via di percorrenza. Nel dettaglio sarà utilizzato un alimentatore in cavo da 300mm² in parallelo a ciascuna via di corsa. Gli alimentatori saranno collegati al filo di contatto attraverso apposite risalite in cavo con sezione da 120 mm² ogni circa 200m. Inoltre, in corrispondenza di ciascuna risalita, sarà realizzato il parallelo pari/dispari delle condutture di corsa con il medesimo cavo da 120 mm².

Per ciascun tratto catenary free, per garantire la continuità elettrica del sistema di trazione, sarà utilizzato un alimentatore da 400 mm² per ciascuna via di corsa. Anteriormente e posteriormente a ciascun tratto, sarà realizzata una connessione in doppio cavo da 150mm² a ciascun filo di contatto afferente a ciascuna via.

La connessione tra le Sottostazioni elettriche di trazione (SSE) e ciascun filo di contatto sarà realizzata con due cavi da 150 mm² per direzione.

La connessione tra la SSE esistente FS e la nuova SSE di Via della Pace, sarà realizzata con 4 cavi da 400mm² poiché, in questo alimentatore, transiterà l’energia tra il SIR3 ed il SIR1.

Nel documento **NP0000D18DXTE0000001A** – Schema TE, è riportata l’architettura elettrica di sistema che riporta i dettagli sopra menzionati.

I cavi facente parte del circuito di alimentazione “positivo” saranno del tipo 3,6/6kV conformi alla norma CEI 20-13.

I cavi utilizzati per le risalite, saranno protetti da una canaletta in vetroresina e saranno direttamente connessi alla linea di contatto (categoria OV4 secondo la norma EN 50124).


La tipologia di cavi scelta è provata alla tensione di impulso Up di 60kV in accordo alla norma CEI 20-13. Tale valore risulta essere maggiore della tensione assegnata ad impulso del sistema di trazione 750Vcc individuata dalla norma EN 50124, pertanto si ritiene la corretta la scelta della tipologia di cavo utilizzato.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche elettriche dei cavi citati ed utilizzati per le verifiche di sistema:

Materiale	Sez. Nominale	Resistività 40 °C	Resistenza 40°C	Portata Cavi 3,6/6kV
Unità di misura	mm ²	Ωmm 10 ⁻⁶	Ω /km	A
CU	120	19.19	0.160	294 (CEI-UNEL 35027 – U 0/U = 3,6/6 kV - sistema di posa C2)
CU	150	19.19	0.13	333 (CEI-UNEL 35027 – U 0/U = 3,6/6 kV - sistema di posa C2)
CU	300	19.19	0.064	465 (CEI-UNEL 35027 – U 0/U = 3,6/6 kV - sistema di posa E3)
CU	400	19.19	0.048	510 (posa interrata - catalogo cavi)

Tabella 8 – Caratteristiche degli alimentatori “Positivo”

Si fa presente, che in accordo al regolamento dei prodotti da costruzione UE 305/11 ed in conformità alle norme CEI, i cavi alimentatori interni ai fabbricati di sottostazione dovranno essere del tipo Cca - s1b, d1, a1. A tal proposito, si ritiene opportuno utilizzare con l’obiettivo di standardizzazione, cavi CPR del tipo Cca - s1b, d1, a1 anche per le dorsali di alimentazione uscenti dal fabbricato di ciascuna SSE.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	16 di 34

4.7 Caratteristiche del Circuito di ritorno “Negativo”

Il circuito di ritorno è composto dalla rotaia “Guida” che caratterizza il sistema Translohr e da un alimentatore in parallelo a ciascuna rotaia di corsa.

Le caratteristiche elettriche della rotaia sono state dedotte dal documento D00009622/D “Caratteristiche della rotaia di Guida Translohr” che riporta un valore di resistenza pari a 64 micro Ω /m a 0°C.

Ciascun alimentatore sarà formato da un cavo da 240 mm² e sarà collegato attraverso un apposito cavo con sezione da 120 mm² alla rotaia di corsa in corrispondenza dei paralleli pari/dispari delle condutture di contatto (“positivo”).

Inoltre, in corrispondenza di ciascun collegamento, sarà realizzato il parallelo pari/dispari delle rotaie di corsa con il medesimo cavo.

La connessione tra le Sottostazioni elettriche di trazione (SSE) e ciascuna rotaia sarà realizzata con due cavi da 150 mm² per ogni direzione di marcia.

La connessione tra la SSE esistente FS e la nuova SSE di Via della Pace, sarà realizzata con 4 cavi da 300mm² poiché, in questo alimentatore, transiterà l’energia tra il SIR3 ed il SIR1.

Nel documento **NP0000D18DXTE0000001A** – Schema TE, è riportata l’architettura elettrica di sistema che riporta i dettagli sopra menzionati.

I cavi facente parte del circuito di ritorno saranno del tipo 0,6/1kV.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche elettriche dei cavi citati ed utilizzati per le verifiche di sistema:

Materiale	Sez. Nominale	Resistività 40 °C	Resistenza 40°C	Portata Cavi 0,6/1kV
Unità di misura	mm ²	Ω mm 10 ⁻⁶	Ω /km	A
CU	120	19.19	0.160	312 (posa in aria in tubo - catalogo cavi)
CU	150	19.19	0.160	287 (posa interrata in tubo - catalogo cavi)
CU	240	19.19	0.080	379 (posa interrata in tubo- catalogo cavi)
CU	300	19.19	0.048	429 (posa interrata in tubo - catalogo cavi)

Tabella 9 – Caratteristiche degli alimentatori “Negativo”

Si fa presente, che in accordo al regolamento dei prodotti da costruzione UE 305/11 ed in conformità alle norme CEI, i cavi alimentatori interni ai fabbricati di sottostazione dovranno essere del tipo Cca - s1b, d1, a1.

A tal proposito, si ritiene opportuno utilizzare con l’obiettivo di standardizzazione, cavi CPR del tipo Cca - s1b, d1, a1 per tutte le applicazioni che impiegano cavi 0,6/1kV anche al di fuori dei fabbricati.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	17 di 34

5 VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE

Lo studio di potenzialità del sistema elettrico di trazione, realizzato tramite programmi di simulazione, è focalizzato a verificare le seguenti prestazioni del sistema:

- Qualità della tensione al pantografo;
- Carico elettrico riferito alla linea;
- Carico elettrico delle apparecchiature di sottostazione.

Come già menzionato precedentemente, la verifica delle prestazioni del sistema elettrico è stata realizzata analizzando le seguenti condizioni di funzionamento:

- “Servizio Normale”: Si assume che tutte le Sottostazioni elettriche di conversione sono in servizio;
- “Servizio Degradato”: Si assume il fuori servizio ciclico completo di una Sottostazione elettrica di conversione.

Considerando che, per la determinazione dell’architettura elettrica risulta dimensionante il caso di fuori servizio completo di una SSE (caso n-1), **nel solo servizio normale è stato considerato un cadenzamento pari a 8 minuti.**

Di seguito, sono riportati i risultati generali delle simulazioni di sistema e i valori caratteristici della tensione al pantografo; questi ultimi sono inoltre confrontati con i valori limite prescritti dalle normative di riferimento EN 50163 e EN 50388.

	Normale servizio	Fuori Servizio SSE Viale della Pace	Fuori Servizio SSE Forcellini	Fuori Servizio SSE Voltabarozzo
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	717	582	581	582
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	2342	2445	2425	2639
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	709	567	567	567
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	2276	2251	2251	2251

Tabella 10 - Risultati generali

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>					
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>		<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>18 di 34</p>

5.1 Verifica delle tensioni al pantografo

Nella tabella seguente sono riportati i valori di tensione registrati al pantografo.

		Normale servizio	Fuori Servizio SSE Viale della Pace	Fuori Servizio SSE Forcellini	Fuori Servizio SSE Voltabarozzo	Limiti Normativi di riferimento [V]
Tensione media [V]	Dispari	823	812	812	813	-
	Pari	823	813	812	812	
Tensione media utile [V]	Dispari	818	799	803	803	675 (EN 50388)
	Pari	821	806	806	802	
Tensione minima [V]	Dispari	777	601	722	565	500 (EN 50163)
	Pari	778	603	724	567	

Tabella 11 - Valori di tensione al pantografo

Come mostrato dalla tabella, i valori sono superiori ai limiti normativi. Il valore minimo si registra in caso di fuori servizio della SSE Voltabarozzo.

5.2 Verifica degli assorbimenti in ciascuna SSE

Nella tabella seguente sono riportati gli assorbimenti di ciascun gruppo di conversione installato nelle SSE nei diversi scenari simulati.

	Correnti [A]							
	Normale servizio		Fuori Servizio SSE Viale della Pace		Fuori Servizio SSE Forcellini		Fuori Servizio SSE Voltabarozzo	
	media quadratica	massima	media quadratica	massima	media quadratica	massima	media quadratica	massima
SSE Viale della Pace	307	1072	-	-	423	1442	303	1160
SSE Forcellini	388	1142	531	1830	-	-	516	2239
SSE Voltabarozzo	297	1281	290	1282	393	1638	-	-

Tabella 12 - Assorbimenti nelle SSE nei diversi scenari simulati

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 19 di 34

5.2.1 SSE Viale della Pace - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio

Come comunicato dalla Committenza, il carico massimo relativo al SIR1 rilevato nella SSE esistente FS, è pari a circa 136.990kWh registrato nel mese di Gennaio del 2019. Da tale dato si stima un assorbimento giornaliero pari a 4.419kWh con conseguente assorbimento orario di 368kWh (esercizio basato su 12 ore) che equivale a circa 491A medi (a tensione nominale). Per quanto riguarda l'assorbimento massimo istantaneo, è possibile ipotizzare un valore pari a 1200A in linea con gli altri assorbimenti massimi registrati nella simulazione della linea SIR3 con: sistema, materiale rotabile e cadenzamento medesimo del SIR 1.

A seguito di quanto esposto, si riportano le seguenti considerazioni:

- Nel caso di fuori servizio della SSE di Forcellini, si registra l'assorbimento massimo nella SSE di Viale della Pace, in questo scenario, dovrà essere considerato anche il carico del SIR 1.
- Nel caso di fuori servizio della SSE esistente di Morandi o Santo a servizio del SIR 1, è possibile stimare un carico medio/massimo pari a 1,5 il carico medio/massimo registrato in servizio normale nel SIR 1. In questo caso, tale carico dovrà essere sommato al carico registrato nella simulazione nello scenario di normale servizio della SSE di Via della Pace.
- Per effettuare una valutazione complessiva sugli assorbimenti di corrente del gruppo di conversione, è opportuno considerare anche il carico della futura linea SIR 2 che sarà interconnessa sul SIR 1. A tal proposito è stata ipotizzato un carico medio di 450A con un picco di 1200A.



Nella tabella seguente, si riporta il dettaglio di quanto esposto riportando i valori delle correnti medie e massime stimabili nella SSE di Viale della Pace:

Impianto	Caso	Correnti [A]								Potenza di Allaccio [MVA]
		Carico SIR 3		Carico SIR 1		Carico SIR 2		Media tot	Massima tot	
		media quadratica	massima	media	massima	media	massima			
SSE Viale della Pace	Fuori servizio SSE Forcellini	423	1442	491	1200	450	1200	1364	3842	3,3
SSE Viale della Pace	Fuori servizio SSE Morandi/Pace (SSE SIR 1)	307	1072	737	1800	450	1200	1494	4072	3,5

Tabella 13 - SSE Viale della Pace - Calcolo della potenza di Allaccio

Come mostrato dalla tabella, la corrente media è sempre al disotto del valore nominale del gruppo (2000A), mentre si registra un sovraccarico "istantaneo" di circa 4000A in linea con il sovraccarico ammissibile del gruppo.

A seguito di queste valutazioni si rende necessario richiedere una potenza di allaccio nella SSE di Viale della Pace di circa 3,5 MVA.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">SERVIZIO REGIONALE DI PROTEZIONE ED ASSISTENZA</p>	<p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">PINI SWISS</p>					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione		COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 20 di 34

5.2.2 SSE di Forcellini - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio

Nel caso di fuori servizio della SSE Viale della Pace, nella SSE di Forcellini si registra l'assorbimento massimo. Anche in questo caso, dovrà essere considerato il carico del SIR 1.

In questo scenario, il carico del SIR 1 sarà suddiviso tra la SSE di Forcellini e le SSE esistenti di Morandi e Santo a servizio del SIR 1.

Impianto	Caso	Correnti [A]						Potenza di Allaccio [MVA]
		Carico SIR 3		Carico SIR 1		Media tot	Massima tot	
		media quadratica	massima	media	massima			
SSE Forcellini	Fuori servizio SSE Viale della Pace	531	1830	491	1200	1022	3030	2,6

Tabella 14 - SSE Forcellini - Calcolo della potenza di Allaccio

Come mostrato dalla tabella, la corrente media è sempre al di sotto del valore nominale del gruppo (2000A), mentre si registra un sovraccarico "istantaneo" di circa 3000A in linea con il sovraccarico ammissibile del gruppo.

A seguito di queste valutazioni si rende necessario richiedere una potenza di allaccio nella SSE di Forcellini di circa 2,6 MVA.

Si fa presente che il caso di fuori servizio della SSE di Viale della Pace equivale ad un fuori servizio "n-2", poiché in questa condizione potrà essere attivato il gruppo della SSE FS esistente.

5.2.3 SSE di Voltabarozzo - Verifica degli assorbimenti e calcolo della potenza di allaccio





Nella SSE di Voltabarozzo si registra l'assorbimento massimo in caso di fuori servizio della SSE di Forcellini.

Per la determinazione della potenza di allaccio, occorrerà considerare, gli assorbimenti del gruppo di conversione e degli impianti LFM a servizio dell'officina.

Impianto	Caso	Correnti [A]						Potenza S. Aux [kVA]	Potenza di Allaccio [MVA]
		Carico SIR 3		Gruppo Deposito		media tot	massima tot		
		media quadratica	massima	media	massima				
SSE Voltabarozzo	Fuori servizio SSE Forcellini	393	1638	100	1200	493	2838	0,63	3,0

Tabella 15 - SSE Voltabarozzo - Calcolo della potenza di Allaccio

Come mostrato dalla tabella, la corrente media è sempre al di sotto del valore nominale del singolo gruppo (2000A). Inoltre, si segnala che non si rileva nessun un sovraccarico. A tal proposito si rammenta che entrambi i gruppi saranno attivi e che saranno totalmente indipendenti.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>21 di 34</p>

A seguito di queste valutazioni si rende necessario richiedere una potenza di allaccio nella SSE di Voltabarozzo di circa 3 MVA. Si fa presente che la potenza dei trasformatori dei servizi ausiliari a servizio dell'officina è al vaglio dei progettisti LFM. Pertanto, la potenza di allaccio potrà essere confermata in seguito allo sviluppo del progetto.


5.3 Verifica termica della catenaria

Con l'obiettivo di effettuare una verifica termica dei diversi conduttori, di seguito vengono presentati i risultati degli assorbimenti di corrente in uscita da ciascuna SSE (lato Nord e lato Sud) nei diversi scenari di esercizio suddivisi per via di percorrenza.

	Correnti medie quadratiche [A]															
	Normale servizio				Fuori Servizio SSE Viale della Pace				Fuori Servizio SSE Forcellini				Fuori Servizio SSE Voltabarozzo			
	Nord		Sud		Nord		Sud		Nord		Sud		Nord		Sud	
	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari
SSE Viale della Pace	62	65	143	138	-	-	-	-	56	58	203	198	55	58	143	139
SSE Forcellini	121	135	125	111	229	238	101	87	-	-	-	-	94	108	227	220
SSE Voltabarozzo	147	159	0	0	145	153	0	0	195	204	0	0	-	-	-	-

Tabella 16 - Correnti medie quadratiche "Positivo" registrate in uscita dalle SSE suddivisi per via di percorrenza

Come mostrato dai risultati, il massimo valore di corrente media quadratica registrato è pari a 238A. Tale valore è inferiore alla portata del filo di contatto da 120mm² (con portata pari a 380A), pertanto non si riscontrano sovratemperature critiche.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 22 di 34

5.4 Verifica termica degli alimentatori e del negativo in uscita dalle SSE

Con l'obiettivo di effettuare una verifica termica dei diversi conduttori, di seguito vengono presentati i risultati degli assorbimenti di corrente in uscita da ciascuna SSE (lato Nord e lato Sud) nei diversi scenari di esercizio.

	Correnti medie quadratiche [A] - Positivo							
	Normale servizio		Fuori Servizio SSE Viale della Pace		Fuori Servizio SSE Forcellini		Fuori Servizio SSE Voltabarozzo	
	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud
SSE Viale della Pace	120	278	-		108	399	108	280
SSE Forcellini	239	227	459	178	-	-	185	443
SSE Voltabarozzo	297	0	290	0	393	0	-	

Tabella 17 - Correnti medie quadratiche "Negativo" registrate in uscita dalle SSE



In uscita da ciascuna SSE sono presenti:

- i cavi di connessione alla Linea di Contatto
- i cavi alimentatori che corrono in parallelo alla Linea.

Pertanto, ciascun valore di corrente mostrato in tabella, è la somma delle correnti di tutti i cavi in uscita dalla SSE.

Alla luce dei risultati, ne risulta che il massimo valore registrato è pari a 459A nella SSE di Forcellini. Tale valore è inferiore alla portata dei cavi da 4x1x150mm² (portata da 1332A) utilizzati per il collegamento alla LdC. Inoltre, risulta essere inferiore alla portata del feeder di rinforzo da 2x1x300 mm² (portata 930A) in parallelo alle rotaie. Pertanto, ne deriva che la verifica risulta essere soddisfatta.

Relativamente al circuito di ritorno, tale valore è inferiore alla portata dei cavi da 4x1x150mm² (portata pari a 1148A) utilizzati per il collegamento tra la sbarra negativa di SSE e le rotaie. Inoltre, risulta essere inferiore alla portata del feeder di rinforzo da 2x1x240 mm² (portata 758A) in parallelo alle rotaie. Pertanto, ne deriva che la verifica risulta essere soddisfatta.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p> 	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>23 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	23 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	23 di 34								

5.5 Verifica termica dei cavi di collegamento da 120mm²

Come descritto nei paragrafi precedenti, i conduttori da 120mm² saranno utilizzati per:

- I collegamenti tra i feeder positivi e la catenaria
- I collegamenti pari/dispari della linea di contatto
- I collegamenti tra i feeder negativi e la rotaia
- I collegamenti pari/dispari delle rotaie di corsa

Di seguito viene calcolata la corrente che attraversa ciascun conduttore nelle condizioni più sfavorevoli di alimentazione che si verificano nel caso di fuori servizio della SSE di Voltabarozzo. In questo scenario si ha una alimentazione a sbalzo di circa 2800m.



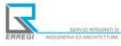

Il calcolo viene effettuato esaminando il circuito equivalente riportato nella figura seguente, dove per i valori di resistenza, sono stati utilizzati i dati descritti nei paragrafi 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7.

In particolare, viene suddivisa la tratta di alimentazione tra la SSE di Forcellini ed il capolinea sito presso Voltabarozzo in sezioni da circa 200m, in corrispondenza delle risalite e dei collegamenti sopracitati.

L'ultima sezione è stata suddivisa con tratti da 50m con l'obiettivo di verificare le condizioni più critiche di alimentazione. Nel dettaglio, sono stati simulati 7 circuiti corrispondenti a 7 istanti temporali in cui sono stati inseriti due generatori di corrente che simulano gli assorbimenti dei tram. In particolare, è stato considerato:

- Per il senso di percorrenza Pari, un generatore di corrente che simula la ripartenza di un Tram dalla stazione capolinea di Voltabarozzo ed arriva fino alla Fermata di Piovese.
- Per il senso di percorrenza Dispari, un generatore di corrente che simula la ripartenza di un Tram dalla fermata di Piovese e che arriva fino al capolinea di Voltabarozzo.

Si fa presente che, un tram che parte da fermo impiega circa 10 secondi per arrivare alla velocità di 50km/h percorrendo circa 75m.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>24 di 34</p>

Nella tabella seguente, a favore di sicurezza, sono riportate per ogni simulazione la posizione dei generatori ed i valori di corrente simulati.

Simulazione	Istante temporale	Generatore di Corrente Catenaria Pari		Generatore di Corrente Catenaria Dispari	
		Progressiva chilometrica [pk]	Corrente [A]	Progressiva chilometrica [pk]	Corrente [A]
1	1	5400	1000	5150	1000
2	2	5350	1000	5200	1000
3	3	5300	1000	5250	1000
4	4	5250	1000	5300	1000
5	5	5200	500	5350	500
6	6	5150	500	5400	500
7	7	5150	200	5400	200

Tabella 18 – posizione generatori di corrente per ogni simulazione

La corrente di spunto ipotizzata di ogni tram è pari a 1000A, che corrisponde alla corrente massima registrata nelle simulazioni di trazione in caso di fuori servizio della SSE di Voltabarozzo.

Nella simulazione 5,6 e 7, a favore di sicurezza, sono stati considerati:

- un assorbimento di 500A, che equivale ad un assorbimento dovuto al mantenimento della velocità del materiale rotabile;
- un assorbimento di 200A, che equivale ad un assorbimento dei servizi ausiliari (tram in stazionamento).

A favore di sicurezza, nella simulazione è stato ipotizzato che l'istante temporale sia pari a 0,1 minuti (6 secondi).

Nella figura seguente è riportato il circuito equivalente simulato relativo al primo istante temporale "1".

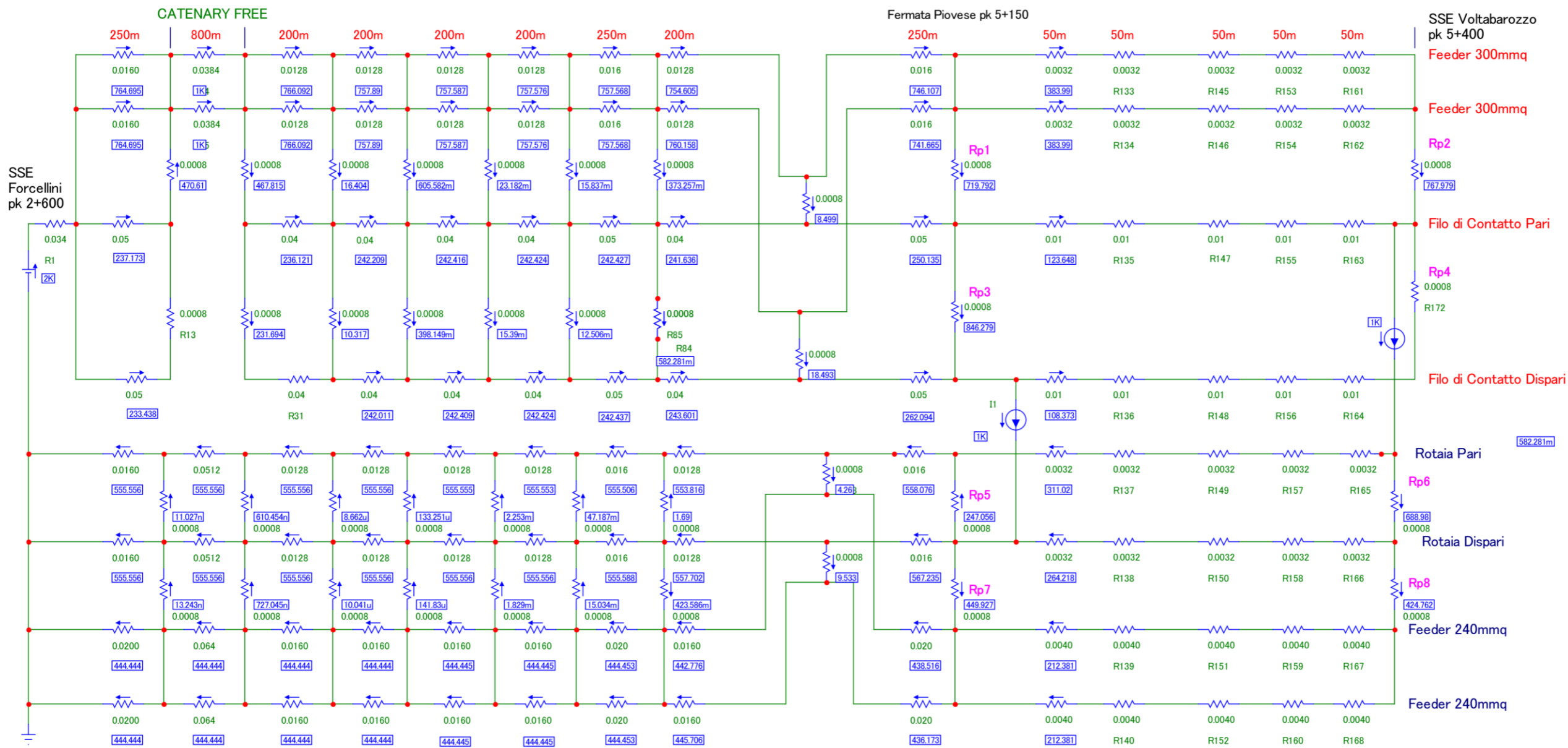






Figura 3 - calcolo delle correnti sui conduttori di risalita – Circuito equivalente

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>26 di 34</p>

Come è possibile osservare dallo schema equivalente, sono stati valutati gli assorbimenti nelle resistenze Rp1, Rp2, Rp3, Rp4, Rp5, Rp6, Rp7 e Rp8 (indicati in viola) che simulano i conduttori di collegamento da 120mm² per ogni istante temporale.

Le risalite utilizzate per i collegamenti, sono interessate da correnti significative nell'intorno dei 200m, pertanto si ritiene corretta l'assunzione di esaminare i risultati nei conduttori negli ultimi 250m.

Nella tabella seguente sono riportati gli assorbimenti registrati:

	Correnti nei conduttori [A]							Corrente media Quadratica [A]
	Istante 1	Istante 2	Istante 3	Istante 4	Istante 5	Istante 6	Istante 7	
Rp1	720,0	726,0	733,0	739,0	373,0	376,0	150,0	589
Rp2	768,0	763,0	759,0	754,0	375,0	372,0	149,0	611,5
Rp3	846,0	654,0	462,0	269,0	38,0	57,0	23,0	453
Rp4	108,0	86,0	281,0	475,0	335,0	432,0	173,0	305
Rp5	247,0	65,0	117,0	298,0	240,0	331,0	132,0	224
Rp6	689,0	502,0	315,0	127,0	29,0	123,0	49,0	351
Rp7	450,0	439,0	428,0	417,0	203,0	197,0	79,0	346
Rp8	425,0	432,0	439,0	446,0	227,0	230,0	92,0	353

Tabella 19 - Correnti registrate nei conduttori utilizzati per le risalite/collegamenti

Come mostrato dalla tabella, il conduttore più carico è relativo alla risalita simulata attraverso la resistenza "Rp2". La corrente media quadratica risulta essere maggiore della propria portata (corrente a regime permanente). Pertanto, al fine di verificare la congruità della temperatura ammissibile, di seguito viene presentato il calcolo della sovratemperatura, considerando un diagramma di carico ciclico che prevede un assorbimento I_c pari alle correnti registrate nel conduttore Rp2 nei primi 10 minuti.

A favore di sicurezza, è stato considerato negli istanti successivi all'ultima simulazione, il medesimo assorbimento di corrente registrato in quest'ultimo istante temporale (149A).

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>					<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione		COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 27 di 34

Per la verifica della sovratemperatura ammissibile sono stati considerati i seguenti dati:

Dati conduttore	
Materiale	Rame
Densità Rame [kg/m3] γ	8960
calore specifico rame J/(kg°C) c	385
Resistività rame ρ_{20} a 20°C	1,78E-08
Temperatura ambiente θ_a	30°C
Temperatura di esercizio θ_z	90°C
Sovra temperatura massima di esercizio θ_{sz}	60°C
Resistività rame ρ_z a θ_z	2,27E-08

Tabella 20 – dati cavo per il calcolo della sovratemperatura

La resistività ρ_z è stata calcolata con la seguente formula:

$$\rho_z = \rho_{20} \cdot \frac{234,5 + \theta_z}{234,5 + 20} \quad \text{dove } 234,5 \text{ è il coefficiente di temperatura } 1/\alpha \text{ del rame a } 0^\circ\text{C}$$

Con tali parametri, ne segue una costante di tempo pari a:

$$T = \frac{c \cdot \gamma}{\rho_z} \cdot \Delta\theta_{sz} \cdot \left(\frac{A}{I_z}\right)^2 \quad [\text{sec}]$$

Dove A (espressa in m²) è la sezione equivalente della linea e I_z è la portata della linea (espressa in Ampere).

Considerando la portata del conduttore pari a 294A ne segue una costante di tempo T pari a 25,3 minuti.

Con riferimento alla situazione di carico e considerando che:

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>					<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione		COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 28 di 34

- la sovratemperatura iniziale rispetto alla temperatura ambiente di 30°C è $\Delta\theta_i = 0^\circ\text{C}$
- la sovratemperatura di regime riferita alla rispettiva corrente di carico I_c vale $\Delta\theta_c = \Delta\theta_z \cdot \left(\frac{I_c}{I_z}\right)^2$
- la sovratemperatura finale vale $\Delta\theta_f = \Delta\theta_c - (\Delta\theta_c - \Delta\theta_i) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ dove $\Delta\theta_i$ è la sovratemperatura iniziale, t è il tempo che persiste la corrente di carico e T è la costante di tempo del conduttore.

si ottiene il grafico di sovratemperatura del conduttore per ogni istante temporale.

T [sec]	T [min]	Corrente di carico	tempo [min]	Sovratemp. θ_i	Sovratemp. θ_f conduttore
0,00	0	768,0	0,1	0	1,6
6,00	0,1	763,0	0,1	1,6	3,2
12,00	0,2	759,0	0,1	3,2	4,8
18,00	0,3	754,0	0,1	4,8	6,3
24,00	0,4	375,0	0,1	6,3	6,7
30,00	0,5	372,0	0,1	6,7	7,0
36,00	0,6	149,0	0,1	7,0	7,0
42,00	0,7	149,0	0,1	7,0	7,1
48,00	0,8	149,0	0,1	7,1	7,1
54,00	0,9	149,0	0,1	7,1	7,1
60,00	1	149,0	0,1	7,1	7,2
66,00	1,1	149,0	0,1	7,2	7,2
72,00	1,2	149,0	0,1	7,2	7,2
78,00	1,3	149,0	0,1	7,2	7,3
84,00	1,4	149,0	0,1	7,3	7,3
...
...
...
...

Tabella 21 – dati tabulati – sovratemperatura linea

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>						
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>29 di 34</p>
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>								

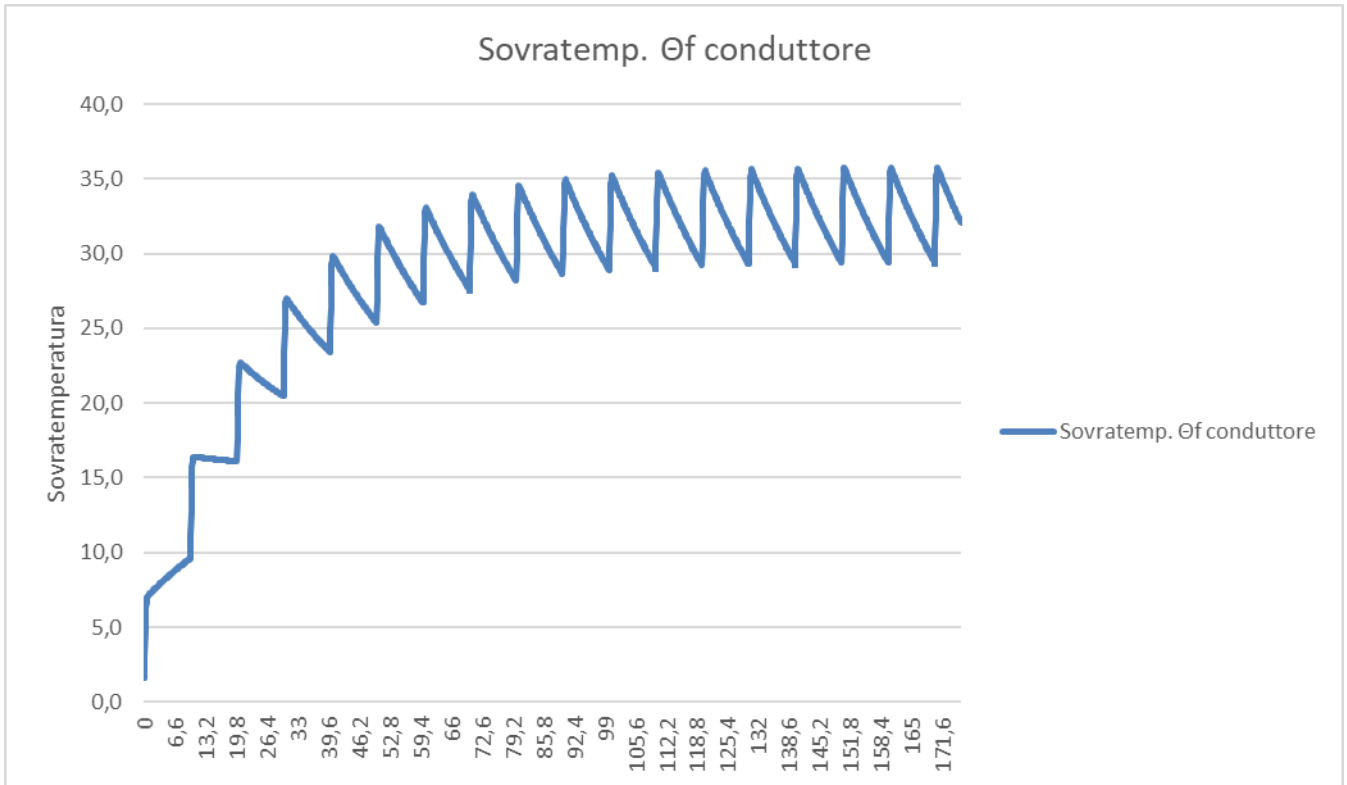


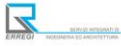



Figura 4 – Sovratemperatura della Linea

Come mostrato dalla figura, la sovratemperatura del conduttore a regime si attesta intorno alla sovratemperatura al di sotto dei 36°C. Questo valore è idoneo con la sovratemperatura massima di esercizio ammissibile pari di 60°C.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>30 di 34</p>

5.6 Verifica del potenziale di binario

La progettazione del circuito di ritorno deve essere effettuata conformemente alle prescrizioni della norma EN 50122-1.

Ai fini della sicurezza per le persone, la norma prescrive che la massima tensione effettiva di contatto a regime permanente nel corpo umano $U_{te,max}$, è pari a 120V nei sistemi a corrente continua. Pertanto, ne consegue che il circuito di ritorno deve essere progettato con l'obiettivo di ottenere un potenziale di rotaia inferiore a questo valore.





A tal scopo, di seguito viene calcolato il potenziale di rotaia nelle condizioni più sfavorevoli di alimentazione che si verificano nel caso di fuori servizio della SSE di Voltabarozzo. In questo scenario, si ha una alimentazione a sbalzo di circa 2800m che provoca la massima caduta di tensione nel circuito di ritorno.

Il calcolo viene effettuato considerato il seguente circuito equivalente, dove:

- Per il senso di percorrenza Pari, un generatore di corrente che simula la ripartenza di un Tram dalla stazione capolinea di Voltabarozzo.
- Per il senso di percorrenza Diapiri, un generatore di corrente pari simula un assorbimento di corrente del tram dovuto alla sua ripartenza a seguito di un eventuale arresto.
- A favore di sicurezza, la conduttanza della rotaia verso terra non è stata considerata. A tal proposito si segnala che la presenza della conduttanza comunque non determinerebbe un cambiamento significativo dei risultati, pertanto nel calcolo non è stata inclusa.

La corrente di spunto ipotizzata di ogni tram è pari a 1000A, che corrisponde alla corrente massima registrata nelle simulazioni di trazione in caso di fuori servizio della SSE di Voltabarozzo.

Come mostrato dalla risoluzione del circuito nella figura successiva, il potenziale di rotaia assume circa 103V che risulta essere inferiore ai 120V prescritti dalla norma, pertanto si ritiene il dimensionamento corretto.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>						
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>31 di 34</p>
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>								

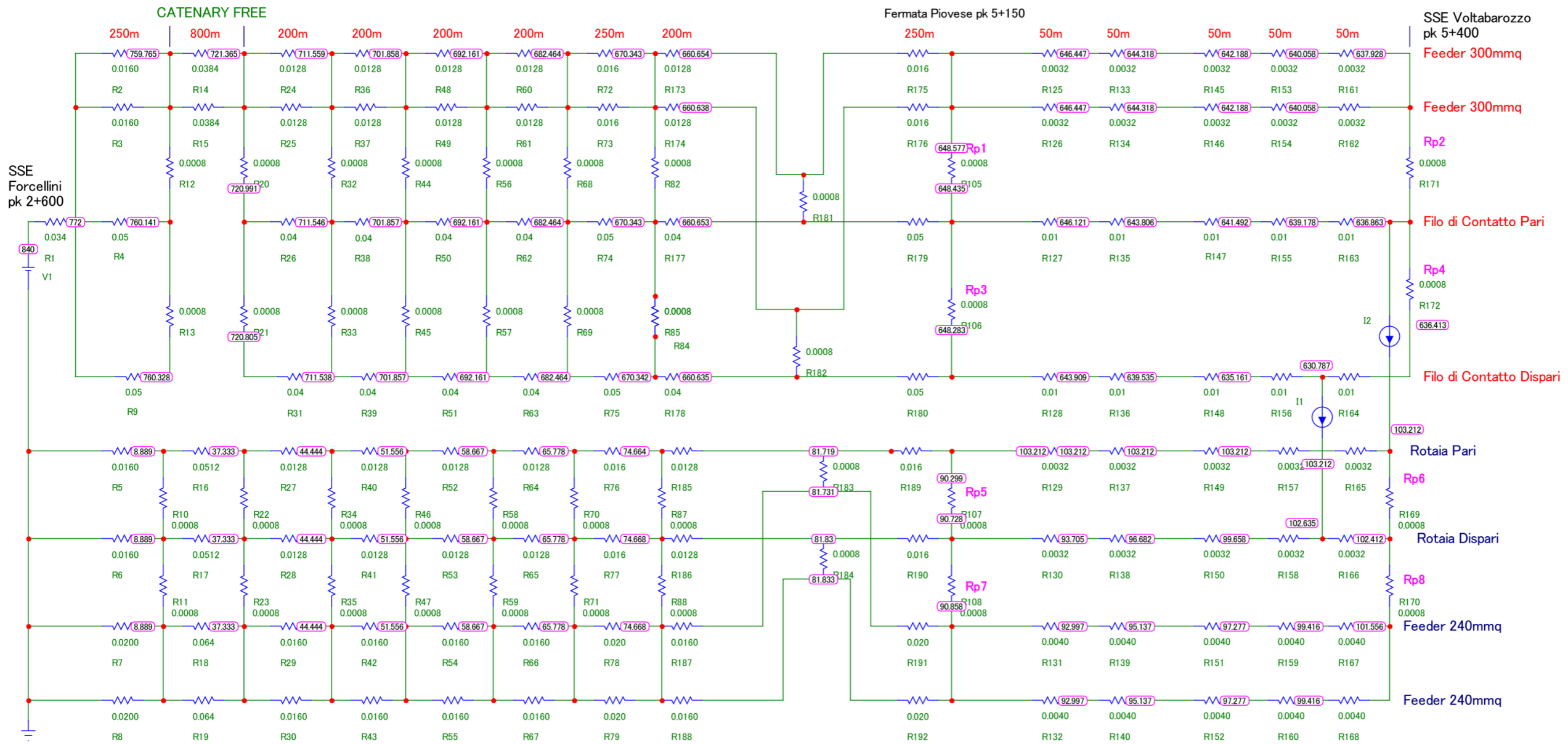





Figura 5 – verifica del potenziale di binario

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p style="text-align: center;">PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>					<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>		<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>SD</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>32 di 34</p>

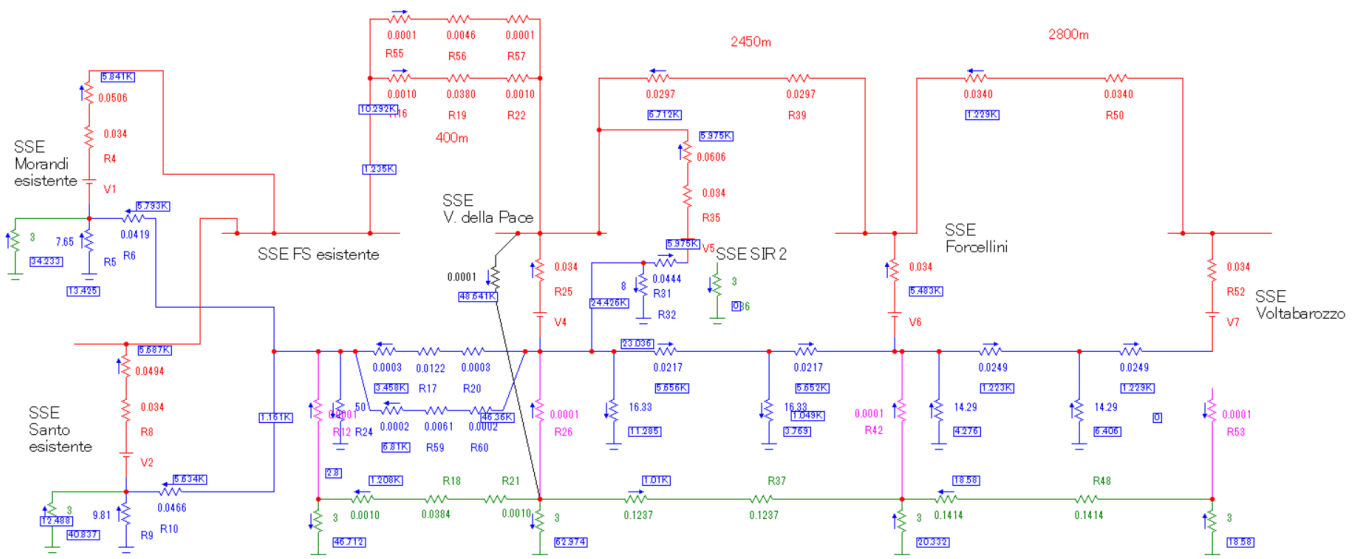
5.7 Calcolo del Cortocircuito in SSE

Si seguito viene presentato il calcolo della corrente di cortocircuito che può presentarsi nella sbarra omnibus 750Vcc del quadro a corrente continua installato nelle SSE.


Considerando che, la corrente di guasto sarà la somma dei contributi dei singoli gruppi in parallelo afferenti alla linea, è possibile affermare che la corrente massima si registrerà nella SSE di Via Della Pace che gestirà il futuro Bivio tra il SIR 3 ed il SIR2.

Per il calcolo è stato ipotizzato:

- Una conduttanza della rotaia verso terra pari a 0,05 S/km (resistore blu trasversale);
- Che in prossimità del guasto sono intervenuti i cortocircuitatori (VLD) installati nella cella negativi di ciascun quadro di SSE (resistore viola) a seguito della differenza di potenziale tra negativo e terra. L'intervento determina il collegamento del negativo alla terra di SSE.
- È stata ipotizzata una resistenza di terra pari a 3 Ω per ciascuna SSE (resistore verde).
- una SSE che alimenta la futura linea SIR 2 distante circa 2,5km dalla SSE di via della Pace che contribuisce alla corrente di guasto.
- Che la SSE FS esistente è funzionante come Cabina di Trazione elettrica (TE) per la gestione del bivio con il SIR1.



Come mostrato dalla figura, in caso di un guasto di sbarra con o senza presenza di massa, si stabilisce una corrente di guasto pari a circa 50kA. Pertanto, le apparecchiature 750cc dovranno essere dimensionate per garantire il corretto funzionamento anche a seguito di questa tipologia di guasto. A tal proposito, si rammenta che questo

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO							
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	MANDANTE  SWISS						
Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione			COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA SD	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 33 di 34

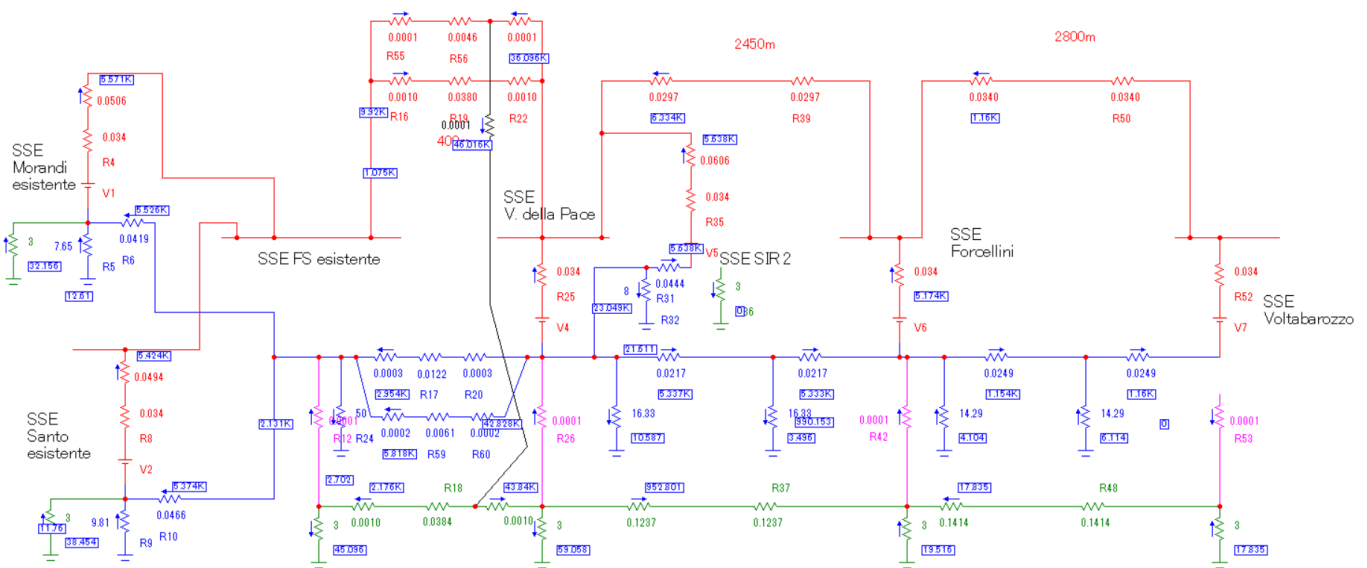
valore di corrente può perdurare fino all'intervento dell'interruttore extrarapido, che come indicato dalla norma EN 50388 può variare tra i 20 ed i 60ms.

5.8 Dimensionamento degli Schermi

Analogamente a quanto esposto nella sezione precedente, viene effettuato nuovamente il calcolo considerando il caso di cortocircuito nei primi 10m di cavo di un alimentatore in uscita dalla SSE. In questo scenario è stato simulato il cortocircuito tra il conduttore e lo schermo.

Per il calcolo è stato ipotizzato:


- uno schermo di sezione pari a 95mm² (resistori verdi).
- che gli schermi dei cavi sono stati collegati alla terra di ciascuna SSE.



Come mostrato in figura, si rileva una corrente pari a circa 44kA che transita sullo schermo. Tale corrente, si stabilisce a seguito dell'intervento dei i cortocircuitatori (VLD) installati nella cella negativi di ciascun quadro di SSE in prossimità del guasto. Si rammenta che questo valore di corrente può perdurare fino all'intervento dell'interruttore extrarapido, che come indicato dalla norma EN 50388 può variare tra i 20 ed i 60ms. Pertanto, lo schermo dovrà essere dimensionato per questa corrente.

Per la determinazione della sezione idonea da utilizzare, è stata utilizzata la seguente formula:

$$S_{PE} = \sqrt{\frac{I^2 t}{K_C^2}}$$

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>SD</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>34 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	34 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	SD	SE0000 001	A	34 di 34								

Dove:

- I è la corrente di guasto
- t è il tempo d'intervento della protezione.
- Kc è una costante che dipende dal materiale ($Kc=143$ per conduttore in rame con isolate in EPR e XLPE)

A favore di sicurezza, considerando $t=0,06$ sec, si ottiene uno schermo con sezione normalizzata di 95mm^2 .

6 CONCLUSIONI

Alla luce delle verifiche effettuate, il sistema rappresentato nel documento **NP0000D18DXTE0000001A** – Schema TE risulta essere correttamente dimensionato.

Si rileva che la SSE di Via della Pace, come prevista da Progetto preliminare, dista circa 400m dalla SSE esistente FS a servizio della linea SIR1. Il parallelo delle SSE determina un incremento delle correnti di guasto che potrebbe danneggiare le attuali apparecchiature esistenti sul SIR1.

Visti gli attuali e ridotti assorbimenti di potenza registrati nella SSE FS esistente e con l'obiettivo di mantenere al disotto di valori critici la corrente di guasto, il presente progetto è sviluppato ipotizzando di gestire l'attuale SSE FS come Cabina TE in riserva fredda.

In questo scenario la SSE di Via della Pace, predisposta per alimentare anche la futura linea SIR 2, erogherà energia a servizio del SIR 3 ed a servizio del SIR1. Mentre la SSE FS esistente sarà funzionante come Cabina TE e gestirà la protezione del bivio tra il SIR1 ed il SIR3.

In particolare, considerando che la futura Linea SIR 2 si interconetterà sul SIR 3 in corrispondenza di Via Niccolò Tommaseo, sono previste, in questa fase progettuale, nella nuova SSE di Via della Pace, idonee apparecchiature di protezione e sezionamento (interruttori extrarapidi e sezionatori) come predisposizione per la futura connessione.

In caso di fuori servizio della SSE di Via della Pace, potrà essere inserito il gruppo di conversione della SSE FS attuale che erogherà l'energia a servizio del SIR 3 ed a servizio del SIR1.

Inoltre, in caso di esigenze legate all'esercizio, potrà essere attivato il sezionamento localizzato in corrispondenza del bivio SIR1/SIR3 per tenere completamente separate le linee di alimentazione. In questo scenario, entrambe le SSE potranno erogare potenza, ma il tram dovrà percorrere il sezionamento a pantografo abbassato.