



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa).

Relazione descrittiva del sistema e dei dati di in-put

DOC.	PR1Fi02	REV.	A	SCALA	-	FILE	PR1Fi02A
------	----------------	------	----------	-------	----------	------	-----------------

Sintagma Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche	SMTSP SOCIETÀ PER LA MOBILITÀ ED IL TRASPORTO PUBBLICO Progettazione sistema trazione elettrica				
TPS PRO Analisi trasportistica	TEP S.p.A. Consulenza materiale rotabile				
ptsclas Analisi costi benefici	SATFERR S.r.l. European Railway Service Progettazione sistema di alimentazione				
STUDIO INGEGNERIA GENNARI Consulenza progettazione strutturale	 ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PARMA INGEGNERE JUNIOR Mattedi, Borra SACREA Sezione 9 N° 154B Settore Industriale				
A	17/01/25	Emissione	G. Cosulich	M. Porreca	M. Porreca
REVISIONE	DATA	OGGETTO	REDATTO	VERIFICATO	AUTORIZZATO

 Comune di Parma	Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)	Documento n° PR1Fi02A
		Foglio 2 di 16

Sommario

1	Introduzione	3
1.1	Norme e Standard.....	3
1.2	Documenti di riferimento	3
1.3	Acronimi.....	3
2	Descrizione dello strumento di simulazione.....	3
3	Dati del Tracciato.....	4
4	Dati del Materiale Rotabile.....	10
5	Dati Esercizio.....	12
6	Dati del Sistema elettrico di Alimentazione	13
6.1	Dati Cavi e Conduttori.....	14
6.2	Sottostazioni e Gruppi di Conversione	15
6.3	Bifilare e Alimentatori di Rinforzo	15
7	Criteri di Verifica dei Risultati delle Simulazioni.....	16
7.1	Tensione al pantografo	16
7.2	Corrente nella linea di contatto.....	16
7.3	Corrente nei cavi.....	16
7.4	Carico dei convertitori	16

	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche		Progettazione sistema trazione elettrica
	Analisi trasportistica		Consulenza materiale rotabile
	Analisi costi benefici		Progettazione sistema di alimentazione
STUDIO INGEGNERIA GENNARI	Consulenza progettazione strutturale		

 Comune di Parma	Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)	Documento n° PR1Fi02A
		Foglio 3 di 16

1 Introduzione

Il presente documento riassume i dati di input dello studio di trazione della nuova Filovia di Parma dalla Stazione FS al Campus Universitario, alimentata a 600 [V] in corrente continua.

Sulla linea è presente una sezione in cui i veicoli procedono in marcia autonoma alimentati dal sistema di accumulo di energia presente a bordo. Tale sezione di linea non è oggetto di questo studio.

Lo studio di trazione non è finalizzato al dimensionamento del sistema di accumulo di energia a bordo del veicolo, ma al dimensionamento del sistema di alimentazione in corrente continua della linea filoviaria. La presenza del sistema di accumulo a bordo dei veicoli è presa in considerazione in maniera cautelativa aggiungendo durante l'intera missione del veicolo un carico costante che emula l'assorbimento del caricabatterie.

1.1 Norme e Standard

Riferimento	Codice	Titolo	Data
Std. 1	CEI EN 50122-1	Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno Parte 1: Provvedimenti di protezione contro lo shock elettrico	2012-08
Std. 2	CEI EN 50163	Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane -Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione	2006-10
Std. 3	CEI EN 50388	Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane -Alimentazione elettrica e materiale rotabile - Criteri tecnici per il coordinamento tra alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità	2012-08
Std. 4	CEI EN 50119	Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica	2010-05

1.2 Documenti di riferimento

Riferimento	Ambito	Codice/Descrizione
[Rif.1]	Profili Linea	File "PROFILO.xlsx" ricevuto con e-mail di mercoledì 18/12/2024 10:22
[Rif.2]	Veicolo e dati esercizio	File "FOGLIO ANALISI.pdf" ricevuto con e-mail di mercoledì 11 dicembre 2024 17:41

1.3 Acronimi

SSE	Sottostazione Elettrica
Vcc	Tensione di cortocircuito

2 Descrizione dello strumento di simulazione

Le simulazioni sono eseguite utilizzando il software TrainsRunner-Studio® sviluppato da Setteidea S.r.l in Genova (www.trainsrunner.com).

Il software TrainsRunner-Studio® è certificato in base alle seguenti norme:

- EN50641:2020 Applicazioni ferroviarie - Installazioni fisse - Requisiti per la convalida degli strumenti di simulazione utilizzati per la progettazione dello standard del sistema di alimentazione della trazione elettrica.
- CLC/TS 50641-2:2024 Fixed installations for Railway Applications - Requirements for the validation of simulation tools used for the design of electric traction power supply systems - Part 2: specific DC urban case

Numero di certificato: BVI/5/PRD/2024/ENE/EN/1988/V01 rilasciato da Bureau Veritas Italia.

TrainsRunner-Studio® è un simulatore integrato elettromeccanico per la simulazione di sistemi ferroviari, metropolitani e tranviari ad alimentazione elettrica. Il simulatore è composto da un modulo meccanico e da due moduli elettrici, uno per sistemi in DC e uno per sistemi in AC.

Il simulatore consente di modellare e studiare una rete ferroviaria complessa, simulando il movimento di treni con differenti orari, differenti profili di velocità e differenti caratteristiche elettromeccaniche.

Il simulatore consente di modellare sistemi con differenti tensioni di alimentazione, ad esempio 3 kV DC, 1.5 kV DC, 750 V DC, 600 V DC, 1x25 kV 50 Hz, 2x25 kV 50 Hz, 15 kW 16,7 Hz.

 Sintagma	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche	 TEP	Progettazione sistema trazione elettrica
 TPS PRO	Analisi trasportistica	 SATFERR S.p.A.	Consulenza materiale rotabile
 ptsclas	Analisi costi benefici	 European Railway Service	Progettazione sistema di alimentazione
 STUDIO INGEGNERIA GENNARI	Consulenza progettazione strutturale		

 Comune di Parma	Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)	Documento n° PR1Fi02A
		Foglio 4 di 16

Il software TrainsRunner Studio® fornisce in uscita tutte le informazioni necessarie a:

- progettare il sistema di alimentazione;
- studiare e verificare l'esercizio dei treni in funzione delle caratteristiche e delle prestazioni del sistema di alimentazione elettrico;
- verificare il corretto dimensionamento dei componenti, linea di contatto, cavi, sottostazioni, trasformatori, ...;
- calcolare i consumi energetici del sistema, dei singoli treni e le perdite nei singoli componenti;
- calcolare le correnti di cortocircuito in condizioni di regime permanente, per la taratura degli interruttori e la verifica dei componenti;
- valutare il potenziale del binario verso terra sia in condizioni di esercizio che in presenza di cortocircuiti.

Gli studi precedentemente elencati possono essere eseguiti sia in condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione, che in condizioni degradate, come ad esempio la perdita di una sottostazione elettrica.

Il modulo meccanico può essere utilizzato per calcolare la velocità commerciale e i tempi di percorrenza dei treni, consentendo di progettare l'orario.

L'integrazione del modulo meccanico con i moduli elettrici permette di valutare le prestazioni del sistema nelle condizioni più gravose:

- considerando la massima frequenza dei treni nelle ore di punta
- verificando la capacità del sistema a mantenere il servizio dei treni, in caso di perdita di una o più sottostazioni elettriche.

L'uso integrato del modulo meccanico ed elettrico consente inoltre di analizzare il sistema in condizioni reali, tenendo in conto la mutua interazione tra le grandezze elettromeccaniche che caratterizzano i treni e le variabili che caratterizzano il sistema di alimentazione: questo approccio consente, ad esempio, di simulare la riduzione dello sforzo di trazione al cerchione in funzione della caratteristica corrente/tensione dell'azionamento dei treni e del valore di tensione effettivamente disponibile al pantografo, con conseguente degrado del profilo di marcia del treno.

3 Dati del Tracciato

I dati della linea sono stati ricavati dal documento [Rif.1]

I limiti di velocità riportati in Tabella 4 sono stati calcolati assumendo:

- i limiti di velocità imposti dalle curve del profilo orizzontale, utilizzando la seguente formula:

$$V = 3,6 * \sqrt{(f_t + q) * 9,81 * R}$$

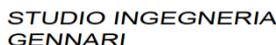
ove:

- V è la velocità in km/h
- R è il raggio di curva in metri
- q è la pendenza trasversale in curva, assunta sempre pari a zero
- f_t è l'aderenza trasversale massima

I limiti così ottenuti sono approssimati al multiplo di 5 km/h più vicino.

- un tetto di velocità di 50 [km/h] su tutta la linea.

Punto iniziale	Punto Finale	Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota iniziale [m]	Quota finale [m]
1	2	0,0	338,5	0,77	63,90	66,49
2	3	338,5	484,4	0,42	66,49	67,10
3	4	484,4	599,4	0,78	67,10	68,00
4	5	599,4	1325,1	0,65	68,00	72,70
5	6	1325,1	1375,1	0,40	72,70	72,90
6	7	1375,1	1442,1	0,82	72,90	73,45
7	8	1442,1	1507,1	-1,00	73,45	72,80

	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche		Progettazione sistema trazione elettrica Consulenza materiale rotabile
	Analisi trasportistica		Progettazione sistema di alimentazione
	Analisi costi benefici		Consulenza progettazione strutturale



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)

Documento n° PR1Fi02A

Foglio 5 di 16

Punto iniziale	Punto Finale	Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota iniziale [m]i	Quota finale [m]
8	9	1507,1	1549,1	-1,19	72,80	72,30
9	10	1549,1	1666,1	-0,94	72,30	71,20
10	11	1666,1	1688,1	-0,32	71,20	71,13
11	12	1688,1	1787,6	-0,05	71,13	71,08
12	13	1787,6	1967,6	-0,04	71,08	71,00
13	14	1967,6	2230,6	0,11	71,00	71,30
14	15	2230,6	2258,1	0,73	71,30	71,50
15	16	2258,1	2296,1	1,05	71,50	71,90
16	17	2296,1	2327,6	0,32	71,90	72,00
17	18	2327,6	2568,6	0,62	72,00	73,50
18	19	2568,6	2615,6	-8,00	73,50	69,74
19	20	2615,6	2675,6	-8,00	69,74	64,94
20	21	2675,6	2748,4	0,00	64,94	64,94
21	22	2748,4	2778,4	8,50	64,94	67,49
22	23	2778,4	2829,4	9,00	67,49	72,08
23	24	2829,4	2852,4	9,00	72,08	74,15
24	25	2852,4	2875,4	1,52	74,15	74,50
25	26	2875,4	2909,4	0,59	74,50	74,70
26	27	2909,4	2936,4	0,00	74,70	74,70
27	28	2936,4	3033,4	0,00	74,70	74,70
28	29	3033,4	3088,4	0,00	74,70	74,70
29	30	3088,4	3119,4	0,00	74,70	74,70
30	31	3119,4	3152,9	0,90	74,70	75,00
31	32	3152,9	3183,9	5,00	75,00	76,55
32	33	3183,9	3280,9	5,00	76,55	81,40
33	33bis	3280,9	3312,9	-5,00	81,40	79,80
33bis	34	3312,9	3380,4	-5,00	79,80	76,43
34	34 bis	3380,4	3429,4	-5,00	76,43	73,98
34 bis	35	3429,4	3478,4	0,80	73,98	74,37
35	36	3478,4	3641,4	0,80	74,37	75,67
36	37	3641,4	4036,4	0,74	75,67	78,61
37	38	4036,4	4078,4	0,21	78,61	78,70
38	39	4078,4	4479,4	0,05	78,70	78,90
39	40	4479,4	4589,4	-0,36	78,90	78,50
40	41	4589,4	4991,4	-0,50	78,50	76,50
41	42	4991,4	5101,4	1,82	76,50	78,50
42	43	5101,4	5531,4	-0,70	78,50	75,50
43	44	5531,4	5560,9	0,54	75,50	75,66
44	45	5560,9	5723,9	-0,80	75,66	74,36
45	46	5723,9	5772,9	-0,80	74,36	73,96
46	47	5772,9	5821,9	5,00	73,96	76,41
47	48	5821,9	5889,4	5,00	76,41	79,79
48	49	5889,4	5921,4	5,00	79,79	81,39
49	50	5921,4	6018,4	-5,00	81,39	76,54
50	51	6018,4	6049,4	-5,00	76,54	74,99
51	52	6049,4	6082,9	-0,86	74,99	74,70
52	53	6082,9	6113,9	0,00	74,70	74,70
53	54	6113,9	6168,9	0,00	74,70	74,70
54	55	6168,9	6265,9	0,00	74,70	74,70
55	56	6265,9	6292,9	0,00	74,70	74,70
56	57	6292,9	6326,9	-0,59	74,70	74,50
57	58	6326,9	6349,9	-1,52	74,50	74,15
58	59	6349,9	6372,9	-9,00	74,15	72,08
59	60	6372,9	6423,9	-9,00	72,08	67,49

SintagmaProgettazione infrastruttura stradale
Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica

TPS PRO

Analisi trasportistica

TEP
S.p.A.

Consulenza materiale rotabile

ptsclas

Analisi costi benefici

SATFERR S.r.l.
European Railway Service

Progettazione sistema di alimentazione

**STUDIO INGEGNERIA
GENNARI**

Consulenza progettazione strutturale



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)

Documento n° PR1Fi02A

Foglio 6 di 16

Punto iniziale	Punto Finale	Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota iniziale [m]	Quota finale [m]
60	61	6423,9	6453,9	-8,50	67,49	64,94
61	62	6453,9	6526,7	0,00	64,94	64,94
62	63	6526,7	6586,7	8,00	64,94	69,74
63	64	6586,7	6633,7	8,00	69,74	73,50
64	65	6633,7	6874,7	-0,62	73,50	72,00
65	66	6874,7	7156,4	0,00	72,00	72,00
66	67	7156,4	7179,1	-1,76	72,00	71,60
67	68	7179,1	7224,1	-1,00	71,60	71,15
68	69	7224,1	7249,4	-0,59	71,15	71,00
69	70	7249,4	7468,4	0,01	71,00	71,03
70	70bis	7468,4	7506,4	0,00	71,03	71,03
70bis	71	7506,4	7571,4	0,52	71,03	71,37
71	72	7571,4	7677,4	0,88	71,37	72,30
72	73	7677,4	7719,4	1,19	72,30	72,80
73	74	7719,4	7784,4	1,00	72,80	73,45
74	75	7784,4	7851,4	-0,82	73,45	72,90
75	76	7851,4	7931,4	-0,50	72,90	72,50
76	77	7931,4	8166,4	-1,70	72,50	68,50
77	78	8166,4	8214,4	-3,13	68,50	67,00
78	79	8214,4	8239,4	0,00	67,00	67,00
79	80	8239,4	8349,4	4,71	67,00	72,18
80	81	8349,4	9075,1	-0,58	72,18	68,00
81	82	9075,1	9193,1	-0,76	68,00	67,10
82	83	9193,1	9339,0	-0,42	67,10	66,49
83	84	9339,0	9677,5	-0,77	66,49	63,90

Tabella 1: Profilo verticale

Da [m]	A [m]	Raggio curva [m]	Sezione
0,0	338,5	∞	A
338,5	484,4	∞	B
484,4	599,4	250	C
599,4	1325,1	∞	D
1325,1	1375,1	30,5	E
1375,1	1442,1	∞	F
1442,1	1507,1	∞	G
1507,1	1549,1	145	H
1549,1	1647,1	∞	I
1647,1	1787,6	116	M
1787,6	1967,6	∞	N
1967,6	2230,6	∞	O
2230,6	2258,1	20,5	P
2258,1	2296,1	∞	Q
2296,1	2327,6	22	R
2327,6	2568,6	∞	S
2568,6	2615,6	50	T
2615,6	2675,6	∞	U
2675,6	2748,4	∞	V
2748,4	2778,4	∞	Z
2778,4	2829,4	50	X
2829,4	2852,4	∞	Y
2852,4	2875,4	∞	AA
2875,4	2909,4	50	BB
2909,4	2936,4	50	CC
2936,4	3033,4	61	DD

 Progettazione infrastruttura stradale
 Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica

Analisi trasportistica

Consulenza materiale rotabile

Analisi costi benefici

Progettazione sistema di alimentazione

 STUDIO INGEGNERIA
 GENNARI

Consulenza progettazione strutturale



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)

Documento n° PR1Fi02A

Foglio 7 di 16

Da [m]	A [m]	Raggio curva [m]	Sezione
3033,4	3088,4	61	EE
3088,4	3119,4	45	FF
3119,4	3152,9	20	GG
3152,9	3183,9	36	HH
3183,9	3280,9	∞	II
3280,9	3312,9	∞	LL
3312,9	3380,4	175	MM
3380,4	3429,4	∞	NN
3429,4	3478,4	∞	NN'
3478,4	3641,4	135	OO
3641,4	4036,4	∞	PP
4036,4	4078,4	30	QQ
4078,4	4479,4	∞	RR
4479,4	4589,4	60	SS
4589,4	4991,4	∞	TT
4991,4	5101,4	30	UU
5101,4	5531,4	∞	VV
5531,4	5560,9	16,5	ZZ
5560,9	5723,9	135	OOr
5723,9	5772,9	∞	NN'r
5772,9	5821,9	∞	NNr
5821,9	5889,4	175	MMr
5889,4	5921,4	∞	LLr
5921,4	6018,4	∞	llr
6018,4	6049,4	36	HHr
6049,4	6082,9	20	GGr
6082,9	6113,9	45	FFr
6113,9	6168,9	61	Eer
6168,9	6265,9	61	DDr
6265,9	6292,9	50	CCr
6292,9	6326,9	50	BBr
6326,9	6349,9	∞	Aar
6349,9	6372,9	∞	Yr
6372,9	6423,9	50	Xr
6423,9	6453,9	∞	Zr
6453,9	6526,7	∞	Vr
6526,7	6586,7	∞	Ur
6586,7	6633,7	50	Tr
6633,7	6874,7	∞	Sr1
6874,7	7156,4	∞	Sr2
7156,4	7179,1	19	Sr3
7179,1	7224,1	∞	Sr4
7224,1	7249,4	18	Sr5
7249,4	7468,4	∞	Nr
7468,4	7506,4	∞	Mr
7506,4	7571,4	37	Lr
7571,4	7677,4	∞	lr
7677,4	7719,4	145	Hr
7719,4	7784,4	∞	Gr
7784,4	7851,4	∞	Fr1
7851,4	7931,4	∞	Fr2
7931,4	8166,4	48	Fr3
8166,4	8214,4	∞	Fr4
8214,4	8239,4	∞	Fr5

 Progettazione infrastruttura stradale
 Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica

Analisi trasportistica

Consulenza materiale rotabile

Analisi costi benefici

Progettazione sistema di alimentazione

 STUDIO INGEGNERIA
 GENNARI

Consulenza progettazione strutturale



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)

Documento n° PR1Fi02A

Foglio 8 di 16

Da [m]	A [m]	Raggio curva [m]	Sezione
8239,4	8349,4	∞	Fr6
8349,4	9075,1	∞	Dr
9075,1	9193,1	250	Cr
9193,1	9339,0	∞	Br
9339,0	9677,5	∞	Ar

Tabella 2: Profilo Orizzontale

Posizione [m]	Descrizione
60,6	F1
246,0	F2
342,5	SEMAFORO
453,5	F3
1817,6	F4
2159,6	F5
2230,6	SEMAFORO
2760,0	F6
3558,4	SEMAFORO
3681,4	F7
4013,4	F8
4349,4	F9
4734,4	F10
5201,4	F11
5501,4	F12
5531,4	SEMAFORO
6235,0	F13
7039,7	F14
7224,1	SEMAFORO
7337,4	F15
9224,1	F16
9294,1	SEMAFORO
9418,0	F17
9639,0	F18

Tabella 3: Posizione delle Fermate e dei Semafori

Da [m]	A [m]	V max [km/h]
0,0	338,5	50
338,5	484,4	50
484,4	599,4	50
599,4	1325,1	50
1325,1	1375,1	30
1375,1	1442,1	50
1442,1	1507,1	50
1507,1	1647,1	50
1549,1	1666,1	50
1666,1	1647,1	50
1647,1	1787,6	50
1787,6	1967,6	50
1967,6	2230,6	50
2230,6	2258,1	25
2258,1	2296,1	50
2296,1	2327,6	25
2327,6	2568,6	50
2568,6	2615,6	35
2615,6	2675,6	50

 Progettazione infrastruttura stradale
 Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica

Analisi trasportistica

Consulenza materiale rotabile

Analisi costi benefici

Progettazione sistema di alimentazione

 STUDIO INGEGNERIA
 GENNARI

Consulenza progettazione strutturale



Comune di Parma

Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)

Documento n° PR1Fi02A

Foglio 9 di 16

Da [m]	A [m]	V max [km/h]
2675,6	2748,4	50
2748,4	2778,4	50
2778,4	2829,4	35
2829,4	2852,4	50
2852,4	2875,4	50
2875,4	2909,4	35
2909,4	2936,4	35
2936,4	3033,4	40
3033,4	3088,4	40
3088,4	3119,4	35
3119,4	3152,9	25
3152,9	3183,9	30
3183,9	3280,9	50
3280,9	3312,9	50
3312,9	3380,4	50
3380,4	3429,4	50
3429,4	3478,4	50
3478,4	3641,4	50
3641,4	4036,4	50
4036,4	4078,4	30
4078,4	4479,4	50
4479,4	4589,4	40
4589,4	4991,4	50
4991,4	5101,4	30
5101,4	5531,4	50
5531,4	5560,9	20
5560,9	5723,9	50
5723,9	5772,9	50
5772,9	5821,9	50
5821,9	5889,4	50
5889,4	5921,4	50
5921,4	6018,4	50
6018,4	6049,4	30
6049,4	6082,9	25
6082,9	6113,9	35
6113,9	6168,9	40
6168,9	6265,9	40
6265,9	6292,9	35
6292,9	6326,9	35
6326,9	6349,9	50
6349,9	6372,9	50
6372,9	6423,9	35
6423,9	6453,9	50
6453,9	6526,7	50
6526,7	6586,7	50
6586,7	6633,7	35
6633,7	6874,7	50
6874,7	7156,4	50
7156,4	7179,1	20
7179,1	7224,1	50
7224,1	7249,4	20
7249,4	7468,4	50
7468,4	7506,4	50
7506,4	7571,4	30


Sintagma

 Progettazione infrastruttura stradale
 Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica


TPS PRO

Analisi trasportistica


TED
SPA

Consulenza materiale rotabile


ptsclas

Analisi costi benefici


SATFERR S.r.l.
European Railway Service

Progettazione sistema di alimentazione

**STUDIO INGEGNERIA
 GENNARI**

Consulenza progettazione strutturale

Da [m]	A [m]	V max [km/h]
7571,4	7677,4	50
7677,4	7719,4	50
7719,4	7784,4	50
7784,4	7851,4	50
7851,4	7931,4	50
7931,4	8166,4	35
8166,4	8214,4	50
8214,4	8239,4	50
8239,4	8349,4	50
8349,4	9075,1	50
9075,1	9193,1	50
9193,1	9339,0	50
9339,0	9677,5	50

Tabella 4: Limiti velocità risultanti

4 Dati del Materiale Rotabile

La Tabella 5 riporta i dati del veicolo [Rif.2].

Descrizione	Valore	Origine dato
Massa a vuoto [kg]	21640	TEP
Massa trasportata [kg]	8316	TEP
Lunghezza [m]	18,61	TEP
Velocità massima [km/h]	50	TEP
Masse inerziali [kg]	1400	TEP
Masse inerziali [% della massa a vuoto]	6,47	TEP
Efficienza complessiva in trazione	0,85	Valore ipotizzato
Efficienza complessiva in frenatura	0,85	Valore ipotizzato
Potenza massima al cerchione [kW]	240	Van Hool Exquicity
Potenza media servizi ausiliari [kW]	65,3	TEP
Potenza media caricabatterie Energy Storage System (ESS) = (200A @ 500V) [kW]	100	Calcolato a partire da dati TEP
Tipo di frenatura	Rigenerativa	TEP
Velocità minima per frenatura a recupero [km/h]	0	TEP
Accelerazione di servizio massima [m/s ²]	1,2	TEP
Decelerazione di servizio massima [m/s ²]	1,2	TEP
Tensione nominale [V]	650	TEP
Tensione minima [V]	435	TEP
Tensione massima permanente [V]	780	TEP

Tabella 5: Dati del Veicolo

Come ipotesi conservativa si assume che la potenza media del caricabatterie sia assorbita in maniera continuativa dal veicolo in tutte le fasi di marcia.

La forza resistente al moto in piano e rettilineo è definita tramite la seguente formula:

$$R = A + B \times V + C \times V^2$$

ove:

- R è la forza resistente al moto in [N]
- V è la velocità in [m/s]
- A, B e C sono i coefficienti che caratterizzano il veicolo (Tabella 6).

Parametro	Valore
A [N] ()	2351

 <p>Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche</p>	<p>Progettazione sistema trazione elettrica</p>
 <p>Analisi trasportistica</p>	 <p>Consulenza materiale rotabile</p>
 <p>Analisi costi benefici</p>	 <p>Progettazione sistema di alimentazione</p>
<p>STUDIO INGEGNERIA GENNARI</p> <p>Consulenza progettazione strutturale</p>	

Parametro	Valore
B [N / (m/s)]	0
C [N / (m/s) ²]	3,84

Tabella 6: Veicolo, Coefficienti per il calcolo della resistenza al moto

La Figura 1 mostra la forza di trazione del veicolo al cerchione calcolata a partire dai dati di Tabella 5 con l'assunzione che la curva a potenza costante inizi alla velocità di 25 [km/h]. La Figura 2 mostra la curva della forza di frenatura totale ed elettrodinamica del veicolo, assunte uguali alla caratteristica della curva di trazione.

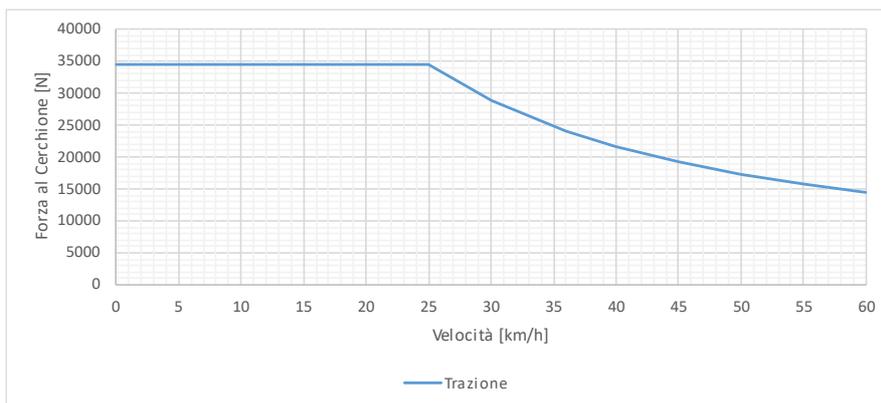


Figura 1: Forza di trazione al cerchione

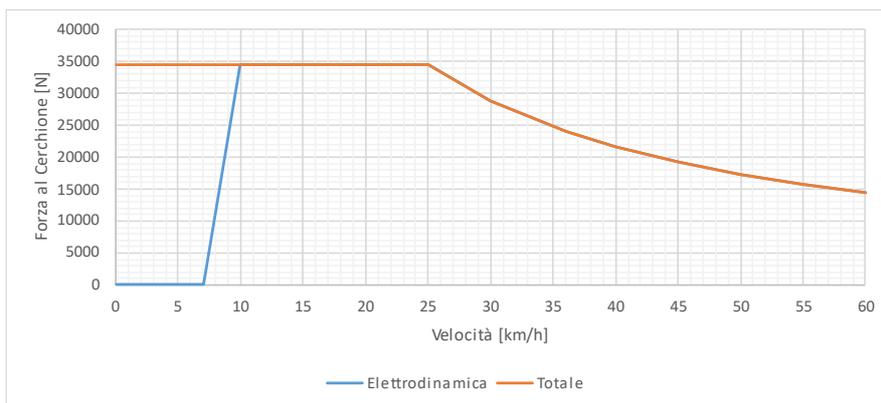


Figura 2: Forza di frenatura totale ed elettrodinamica

La Figura 3 mostra la limitazione della corrente massima assorbita dal filobus in funzione della tensione al pantografo; tale valore di corrente include il carico dei servizi ausiliari e del caricabatteria.

Si precisa che il modello del veicolo implementato nel software TrainsRunner Studio® considera prioritari i carichi del caricabatteria e degli ausiliari di bordo rispetto ai carichi di trazione. Per cui in caso di bassi valori di tensione di linea si ha per primo un abbassamento della potenza disponibile per la trazione.

 <p>Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche</p>	<p>Progettazione sistema trazione elettrica</p>
 <p>Analisi trasportistica</p>	 <p>Consulenza materiale rotabile</p>
 <p>Analisi costi benefici</p>	 <p>Progettazione sistema di alimentazione</p>
<p>STUDIO INGEGNERIA GENNARI</p> <p>Consulenza progettazione strutturale</p>	

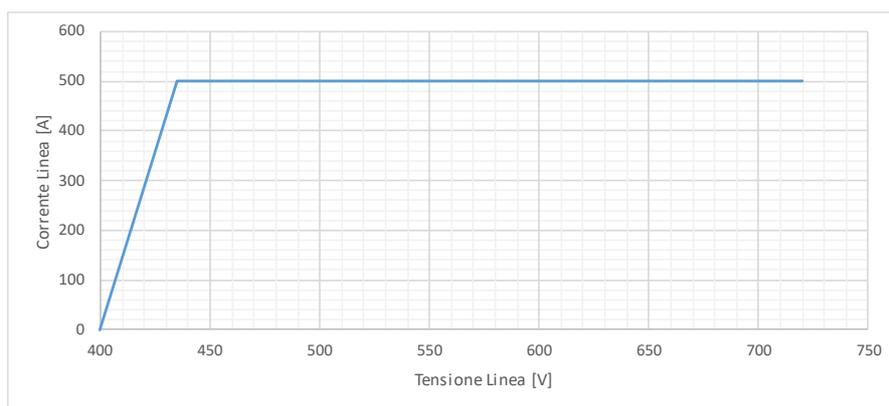


Figura 3: Limiti tensione/corrente

A titolo conservativo le simulazioni sono eseguite senza considerare la rigenerazione di energia alla linea durante la frenatura. L'energia di frenatura è utilizzata solamente per alimentare i carichi ausiliari e il caricabatteria del sistema di accumulo di bordo.

5 Dati Esercizio

Il cadenzamento dei veicoli è pari a 5 minuti (300 [s])

La sosta media alle fermate è assunta pari a 30 [s].

La sosta media ai semafori è assunta pari a 20 [s].

Si assume che il trolley sia alzato in corrispondenza della fermata F1 e abbassato in corrispondenza della fermata F18, che sono quindi considerati i punti di inizio e fine missione per quanto riguarda la simulazione elettromeccanica.

Al fine di indagare diverse configurazioni dei treni presenti in linea sono eseguite dieci simulazioni con l'incremento di 30 [s] ciascuna del sincronismo dei veicoli nelle direzioni di marcia opposte, tramite l'aumento del tempo di sosta in F10.

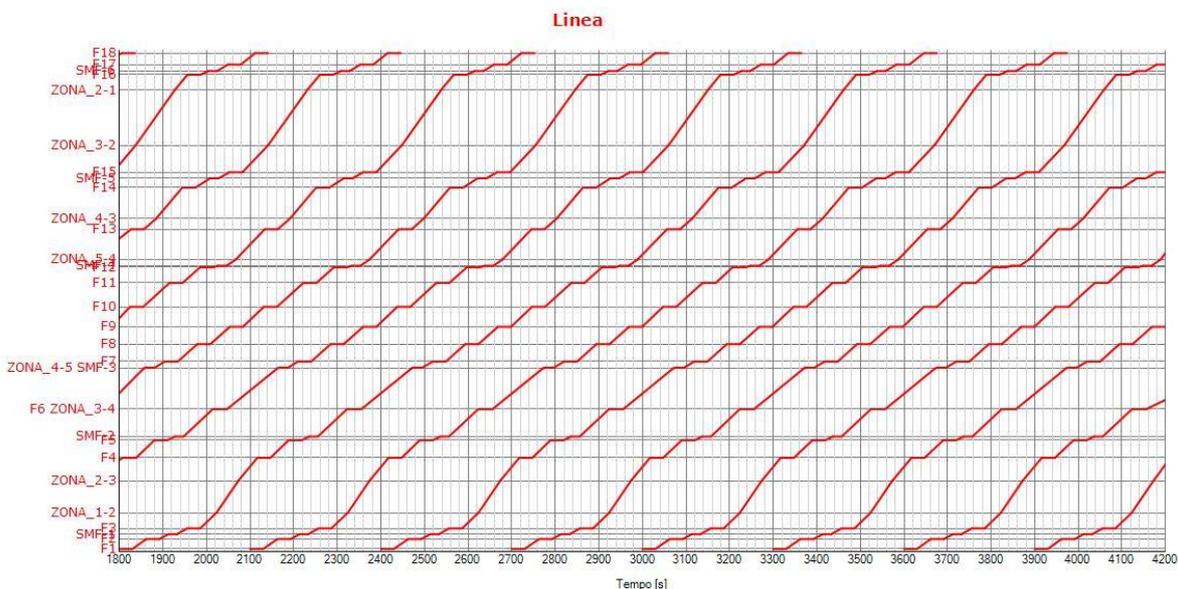
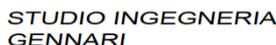


Figura 4: Normale Funzionamento, Orario simulato, sincronismo 0 [s]

Le seguenti figure mostrano i profili di marcia e di corrente e potenza al pantografo del filobus, assumendo che la tensione al pantografo sia sempre uguale al valore nominale.

	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche		Progettazione sistema trazione elettrica
	Analisi trasportistica		Consulenza materiale rotabile
	Analisi costi benefici		Progettazione sistema di alimentazione
	Consulenza progettazione strutturale		

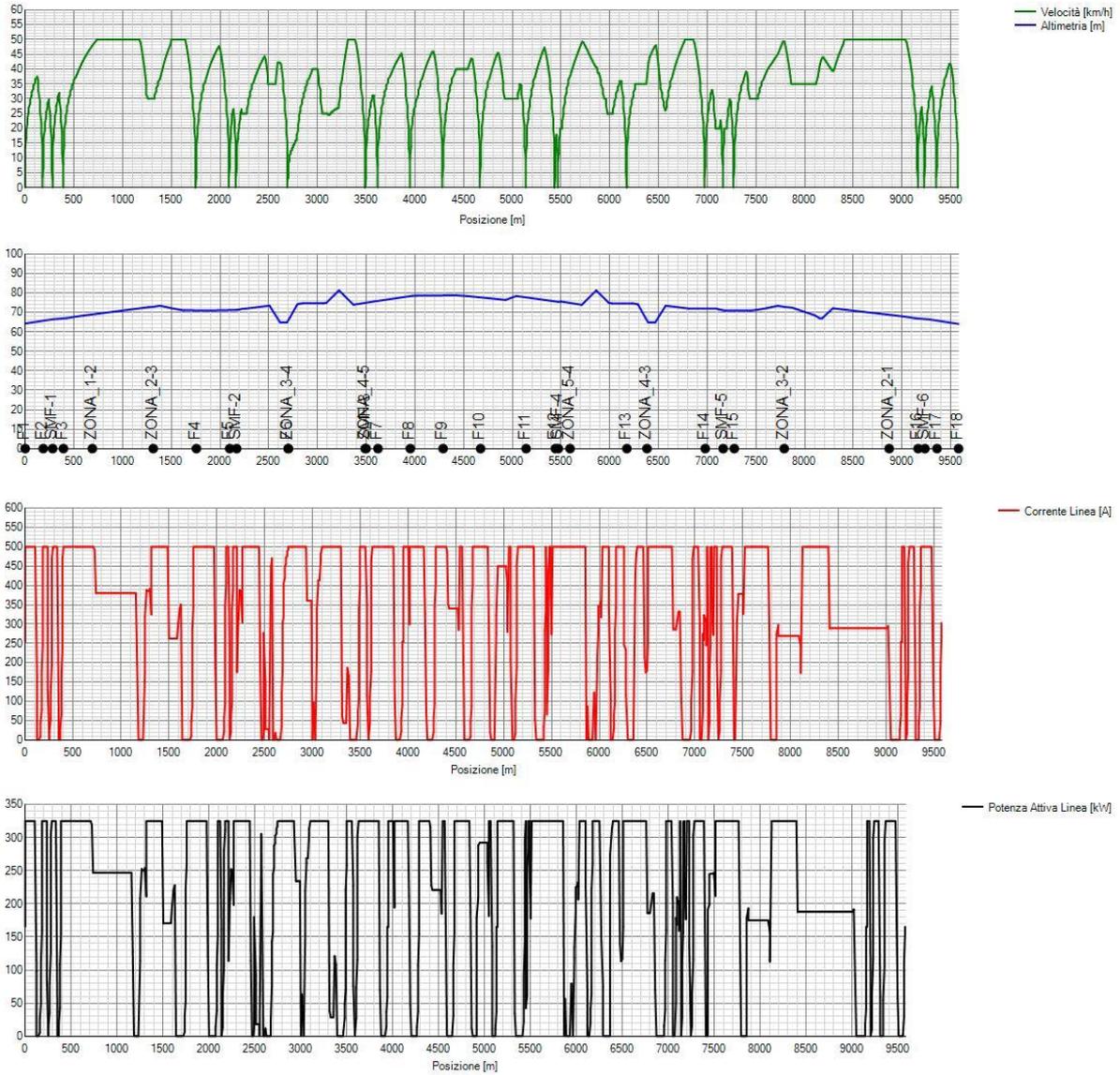


Figura 5: Profili di marcia

6 Dati del Sistema elettrico di Alimentazione

La Figura 6 mostra lo schema semplificato del sistema bifilare. Con l'indicazione di "Doppio Cavo" si intende l'insieme del

Sintagma	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche	TEP S.p.A.	Progettazione sistema trazione elettrica Consulenza materiale rotabile
TPS PRO	Analisi trasportistica	SATFERR S.r.l. European Railway Service	Progettazione sistema di alimentazione
ptsclas	Analisi costi benefici		
STUDIO INGEGNERIA GENNARI	Consulenza progettazione strutturale		

cavo sul circuito positivo e del cavo sul circuito negativo, entrambi della stessa sezione.

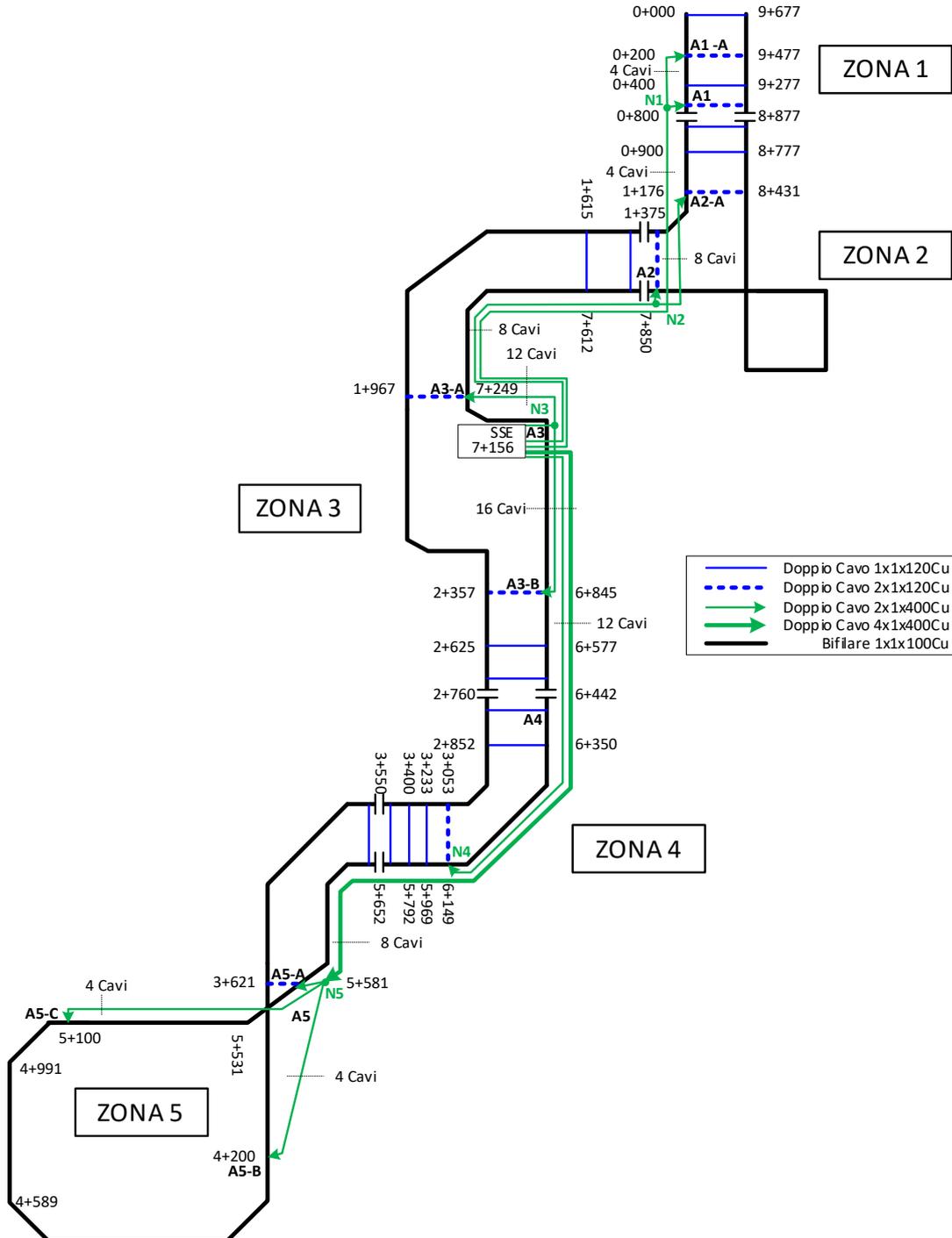


Figura 6: Schema semplificato del sistema di alimentazione in corrente continua

6.1 Dati Cavi e Conduttori

La Tabella 7 riporta i valori della resistenza per unità di lunghezza dei conduttori utilizzati nel sistema di alimentazione e il valore di portata in corrente che dovrà essere verificato nelle successive fasi progettuali in base all'effettiva tipologia di posa.

	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche	 Progettazione sistema trazione elettrica
	Analisi trasportistica	Consulenza materiale rotabile
	Analisi costi benefici	 Progettazione sistema di alimentazione
STUDIO INGEGNERIA GENNARI	Consulenza progettazione strutturale	European Railway Service

 Comune di Parma	Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa)	Documento n° PR1Fi02A
		Foglio 15 di 16

Tipo	Sezione nominale [mm ²]	Resistenza a 20°C [Ω/km]	Usura media [%]	Temperatura di esercizio [°C]	Resistenza alla temperatura di esercizio con usura [Ω/km]	Corrente Limite singolo conduttore [A]
Filo di contatto Cu ETP AC	1x100	0,183	20	70	0,2737	-
Cavo per parallelo tra fili del bifilare	1x120	0,161	0	80	0,199	400 (in aria a 30°C)
Cavo di rinforzo	1x400	0,047	0	80	0,0581	500 (tubo interrato con resistività del terreno pari a 1,5 [K m/W])

Tabella 7: conduttori del sistema di alimentazione

6.2 Sottostazioni e Gruppi di Conversione

La seguente tabella elenca le SSE presenti nel sistema e la potenza installata. La SSE del Deposito e i carichi del Deposito non sono presi in considerazione nel presente studio di trazione.

SSE	Potenza installata DC	Commento
SSE01	2x2000 kW	Un gruppo di riserva calda

Tabella 8: SSE e Potenza Installata

La Tabella 9 riporta i dati caratteristici dei gruppi trasformatore-raddrizzatori presenti lungo linea (vedi Figura 6).

Parametro	Valore
Trasformatore	
Potenza nominale [kVA]	2200
Tensione secondaria [V]	520
Vcc tra primario e un secondario (su base metà potenza primaria) [%]	8
Vcc tra i due secondari (su metà base primario) [%]	12,8
K rapporto di reattanza	0,2
Perdite a vuoto [kW]	5,3
Perdite a carico [kW]	20
Raddrizzatore	
Tipo	Dodecafase in parallelo
Potenza nominale [kW]	2000
Tensione a vuoto raddrizzata [V]	702
Resistenza equivalente prima zona di lavoro [Ω]	0,015
Tensione nominale [V]	600
Corrente nominale [A]	3333
Sovraccarico	50% per 2 h 100% per 1 minuto

Tabella 9: Dati caratteristici dei gruppi di conversione

La lunghezza degli alimentatori è riportata in Figura 6.

6.3 Bifilare e Alimentatori di Rinforzo

I conduttori del bifilare sono costituito da un singolo filo di tipo Cu-ETP-AC di sezione nominale di 100 [mm²] (vedi Tabella 7). La corrente massima ammissibile a regime nella linea di contatto è assunta pari a 311 [A], assumendo una temperatura ambiente di 40 [°C], una sovra temperatura di 30 [°C] e un'usura del 20 [%] (Radiazione solare: 1120 [W/m²], velocità aria: 0,6 [m/s]). Assumendo una sovratemperatura di 40 [°C] la corrente massima ammissibile a regime è pari a 372 [A]. Sono previsti degli alimentatori di rinforzo in parallelo al bifilare, sia sul circuito positivo che sul circuito negativo. Gli alimentatori di rinforzo sono realizzati con cavi di tipo 1x400 [mm²] in rame (vedi Tabella 7), la cui consistenza è riportata in Figura 6 e in Tabella 10.

 Sintagma Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche	 TPS PRO Analisi trasportistica	 TEP Consulenza materiale rotabile
 ptsclas Analisi costi benefici	 SATFERR S.r.l. European Railway Service Progettazione sistema di alimentazione	
 STUDIO INGEGNERIA GENNARI Consulenza progettazione strutturale		

Alimentatore	Circuito Positivo	Circuito Negativo	Lunghezza approssimata [m]
A1	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	1370
A1-A	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	610
A2	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	795
A2-A	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	210
A3	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	100
A3-A	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	100
A3-B	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	320
A4	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	1110
A5	4x1x400 Cu	4x1x400 Cu	1680
A5-A	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	10
A5-B	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	585
A5-C	2x1x400 Cu	2x1x400 Cu	490

Tabella 10: alimentatori di Rinforzo

7 Criteri di Verifica dei Risultati delle Simulazioni

Il presente Capitolo riporta i criteri che saranno adottati per verificare i risultati delle simulazioni.

7.1 Tensione al pantografo

In base alla norma CEI EN 50163 (vedi Std. 2) sarà verificato che:

- la tensione al pantografo sia maggiore di 400 [V]
- la tensione al pantografo sia inferiore a 720 [V] in fase di frenatura dei veicoli.

Da tenere in considerazione che nelle simulazioni, a titolo conservativo non è stata presa in considerazione la frenatura rigenerativa.

7.2 Corrente nella linea di contatto

Il valore RMS della corrente nella linea di contatto, calcolato in un intervallo temporale pari al cadenzamento dei veicoli, deve essere inferiore alla portata in corrente definita al capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

7.3 Corrente nei cavi

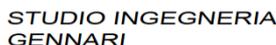
Il valore RMS della corrente nei cavi, calcolato in un intervallo temporale pari al cadenzamento dei veicoli, deve essere inferiore alla portata in corrente definita al capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

7.4 Carico dei convertitori

Il valore RMS della corrente erogata da ciascun gruppo di conversione dovrà:

- essere inferiore al valore nominale in condizioni di normale funzionamento del sistema (tutte le SSE in servizio);
- essere inferiore alla corrente di sovraccarico di lunga durata, definita in base alla classe di servizio del convertitore, nelle condizioni di degrado, con il fuori servizio ciclico di una SSE alla volta.

Il valore di picco della corrente erogata da ciascun gruppo deve essere inferiore al valore di sovraccarico di breve durata previsto dalla classe di servizio del convertitore.

	Progettazione infrastruttura stradale Integrazione prestazioni specialistiche		Progettazione sistema trazione elettrica Consulenza materiale rotabile
	Analisi trasportistica		Progettazione sistema di alimentazione
	Analisi costi benefici	European Railway Service	
	Consulenza progettazione strutturale		