È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa

Milano Comune di Milano

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

PROLUNGAMENTO M5 A MONZA

CUP B94D17000000001

PPM_CDM_01

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Relazione di calcolo sistema alimentazione della trazione - Simulazioni elettriche

IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri di Milano n°14647	IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE a) civile e amb. DOTT. ING. MASSIMILIANO BRANCA n° A 18828 Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828	IL PROGETTISTA RESPONSABILE DOTT. ING. MARCO BRAMANI Ordine degli Ingegneri di Milano n° A30123

Aggiorn.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Acquisito	Approvato
3	Febbraio 2019	Agg. progetto di fattibilità tecnica ed economica				Guzzi
A	30/01/19	Modifica tracciato Cinisello	R. Seghezzi	M.Bramani	Branca	Guzzi
2	LUG. 2018	Progetto di fattibilità tecnica ed economica				Guzzi
0	29/06/2018	EMISSIONE	R. Seghezzi	M.Bramani	Branca	Guzzi

COLLABORAZIONE ALLA PROGETTAZIONE: SETTEIDEA S.r.l.

CODIFICA DOCUMENTO	Commessa	Lotto	Fase	Categoria	Opera	Progressivo
	DM	0	P	I	AL 99	0207

PAGINE TOTALI 90

INDICE

1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 4

2. GENERALITÀ 5

3. CONFIGURAZIONE DELLA LINEA E DATI DI INGRESSO PER LE SIMULAZIONI 7

3.1. Prestazioni di riferimento per il dimensionamento 7

3.1.1. Ipotesi di esercizio e di calcolo 7

3.1.2. Tempi di fermata e d'inversione 8

3.2. Veicolo 8

3.2.1. Caratteristiche generali del veicolo 8

3.2.2. Resistenza al moto 9

3.2.3. Caratteristiche meccaniche ed elettriche 9

3.3. Principali caratteritiche del tracciato 12

3.3.1. Tratta San Siro-Bignami 13

3.3.2. Ttratta Bignami-Monza 20

3.4. Condizioni ambientali 26

3.5. Struttura del sistema di alimentazione 27

3.6. Circuito di alimentazione 34

3.7. Circuito di ritorno 34

4. CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 35

5. DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO DI SIMULAZIONE 36

6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 37

6.1. Simulazioni in normale funzionamento, con cadenzamento di 75 secondi 37

6.1.1. Orario simulato 37

6.1.2. Risultati treni 39

6.1.3. Tensioni al pantografo e potenziali binario 44

6.1.4. Risultati sottostazioni elettriche 46

6.1.5. Correnti negli interruttori extra-rapidi, nei sezionatori e negli alimentatori 48

6.1.6. Correnti nella linea di contatto 52
6.1.7. Cavi di rinforzo 57
6.2. Simulazioni in condizioni di degrado, con cadenzamento di 120 secondi 58
6.2.1. Orario simulato 58
6.2.2. Risultati Treni 61
6.2.3. Tensioni al pantografo e potenziali binario 66
6.2.4. Risultati sottostazioni elettriche 70
6.2.5. Correnti negli interruttori extra-rapidi, nei sezionatori e negli alimentatori 74
6.2.6. Correnti nella linea di contatto 77
6.2.7. Cavi di rinforzo 82
6.3. Calcolo delle correnti di cortocircuito 83
6.3.1. Correnti di cortocircuito massime 83
6.3.2. Correnti di cortocircuito minime 83

7. CONCLUSIONI 87
7.1. Simulazioni con cadenzamento a 75 [s] 87
7.2. Simulazioni con cadenzamento a 120 [s] 88
7.3. Considerazioni finali 89

1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Documenti Primo Lotto (tratta Garibaldi - Bignami)

[1] - M5-C0-102 R.00 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta Garibaldi – Bignami – Dati di input per le simulazioni elettriche

[2] - M5-C0-115 R.01 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta Garibaldi – Bignami – Simulazioni elettriche

[3] - M5-C0-532 R.00 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta Garibaldi – Bignami – Relazione tecnica Impianto Alimentazione elettrica

Documenti Secondo Lotto (tratta S. Siro – Garibaldi):

[4] - M52-C0-502 R.02 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta S. Siro – Garibaldi – Dati di input per le simulazioni elettriche

[5] - M52-C0-509 R.00 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta S. Siro – Garibaldi – Simulazioni elettriche

[6] - M52-C0-501 R.01 – Linea 5 della Metropolitana di Milano – Tratta S. siro – Garibaldi – Relazione tecnica Impianto Alimentazione elettrica

Documenti relativi alla tratta oggetto del presente prolungamento (tratta Bignami – Monza Brianza)

[7] - DM-0032_0033_0034_0035_0036_00037_0038_0039 03– Tracciato Planimetrico

[8] - DM-0041_0042_0043_0044_0045_00046_0047 03 – Profilo Altimetrico

[9] - DM-0063 03 – Schema alimentazione e sezionamenti

[10] - DM-0062 02 SSE - schema unifilare - disegno tipo

Documenti materiale rotabile

[11] - M52-D1-045 R.05 – Specifica Generale di Veicolo – Metro Leggera Automatica di Milano Linea 5 – 4 Casse

2. GENERALITÀ

Scopo della presente relazione di calcolo è quello di definire e supportare il dimensionamento preliminare del sistema di alimentazione relativo al prolungamento della Linea metropolitana M5 di Milano.

Nel realizzare il dimensionamento si è tenuto conto della tipologia di sistema di alimentazione che caratterizza il tratto esistente, del quale il nuovo tratto di linea si configura come naturale estensione. Le scelte di base effettuate tengono pertanto in conto dell'opportunità di mantenere il più possibile gli stessi standard esistenti, soprattutto dal punto di vista della gestione e della manutenzione.

A tal proposito i dati di ingresso riportati nella presente relazione risultano coerenti con quelli delle relazioni di dimensionamento delle tratte già messe in servizio, e precisamente con i documenti [1] e [2] per il PRIMO LOTTO (tratta Bignami – Garibaldi) e con i documenti [4] e [5] per il SECONDO LOTTO (tratta S. Siro – Garibaldi).

Il posizionamento delle Sottostazioni Elettriche di Conversione (nel seguito SSE) tiene inoltre conto dei vincoli dettati dal tracciato e dalle opere civili, in particolare dalle esigenze di costruzione delle stazioni.

Lo scopo principale della relazione è definire soprattutto gli aspetti di sistema e di maggior impatto sulla progettazione funzionale della linea e delle stazioni (in particolare posizione, numero e taglia di massima delle Sottostazioni Elettriche). Per altri aspetti più di dettaglio (es. taglia dei gruppi di conversione per ciascuna SSE, dimensionamento principali apparecchiature di protezione e sezionamento, ecc…) si prevede un affinamento nel successivo sviluppo del presente progetto di Preliminare, tramite calcoli più approfonditi.

Il presente documento annulla e sostituisce il documento DM-0064 - Relazione preliminare di calcolo sistema alimentazione elettrica della trazione, emesso unitamente alla documentazione di Fase 1 del presente Studio di Fattibilità Tecnica ed Economica.

Rispetto a quanto a suo tempo riportato nel documento DM-0064, il presente elaborato affina l'analisi del dimensionamento del sistema di trazione del prolungamento a Monza della Linea 5 di Milano tramite simulazioni elettriche di trazione.

Tale affinamento ha permesso di apportare al sistema di trazione le seguenti ottimizzazioni rispetto al progetto di fattibilità tecnica ed economia di prima fase:

- Eliminazione della sottostazione di Ospedale San Gerardo;
- Aggiunta di due cavi di rinforzo da 400 mm² in rame, dalla SSE di Parco Villa Reale alla SSE di Monza Brianza, collegati in parallelo al circuito di ritorno.

I calcoli riportati in questa relazione si basano sulla simulazione elettrica del sistema di trazione della linea effettuate tenendo conto delle caratteristiche del tracciato, dei rotabili e degli impianti esistenti per le tratte in esercizio.

È doveroso premettere che la presente relazione, dovendo fungere da input progettuale per lo sviluppo del Progetto di Fattibilità tecnico economica, è stata sviluppata considerando la versione del tracciato compresa nel progetto di Fase 1 (Gennaio 2018) che, rispetto a quella prevista nella presente emissione progettuale, presenta alcune differenze relativamente al posizionamento delle Stazioni/Sottostazioni e una variazione del tracciato tra la stazione di Rondinella Crocetta e la Stazione di Cinisello-Monza con conseguente aumento della distanza tra le due stazioni ed il riposizionamento della Stazione Matteotti, rinominata Stazione Lincoln.

A seguito della definizione del tracciato così come riportato negli elaborati della presente emissione è stata effettuato un riesame del progetto tramite il quale è stato valutato che tali differenze non sono impattanti sul dimensionamento del sistema e, pertanto, considerando anche la fase di progetto di cui trattasi, si è convenuto di non rieseguire le simulazioni elettriche.

Analizzando i risultati riportati nel presente documento (in termini di tensioni al pantografo, di tensioni di binario e di potenza erogata da gruppi di conversione) è stato infatti valutato che i margini dei valori stimati rispetto ai limiti normativi ed ai limiti operativi degli impianti e dei treni sono tali da rendere ampiamente confidenti circa il fatto che i risultati elettrici ipoteticamente ricavati dalle simulazioni, qualora venissero ripetute con la nuova versione del tracciato, non subirebbero variazioni tali da comportare modifiche sostanziali al sistema progettato.

Nella successiva fase progettuale si valuterà se ripetere le simulazioni utilizzando l'ultima versione disponibile per il tracciato, che presumibilmente subirà ulteriori piccole messe a punto.

Nei paragrafi seguenti sono riassunti i dati e le ipotesi di base utilizzati per i calcoli ed un riassunto degli esiti delle verifiche effettuate.

3. CONFIGURAZIONE DELLA LINEA E DATI DI INGRESSO PER LE SIMULAZIONI

3.1. PRESTAZIONI DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO

3.1.1. IPOTESI DI ESERCIZIO E DI CALCOLO

Per le prestazioni ottenibili con il tracciato in fase di progetto per il prolungamento a Monza della Linea 5 di Milano si faccia riferimento alla relazione generale.

La potenzialità del sistema di segnalamento della Linea 5 di Milano permette di raggiungere un cadenzamento in linea pari a 75 s. Ai capilinea tale cadenzamento è raggiungibile con opportune configurazioni del piano ferro, del posizionamento delle ultime stazioni terminali e dell'asta di manovra.

Per permettere di sfruttare a pieno le sopraccitate potenzialità, in caso di necessità di esercizio particolari che prevedano un cadenzamento di circa 75 s per l'intero prolungamento (es. eventi particolari al parco di Monza, quali ad esempio eventi sportivi presso l'Autodromo) e/o in ottica di possibili ulteriori espansioni del sistema, il sistema di alimentazione elettrica è dimensionato per l'intero prolungamento per poter sostenere i seguenti livelli di cadenzamento:

- tutte le SSE in servizio: 75 s
- una qualsiasi SSE fuori servizio: 120 s.

Tali prestazioni risultano inoltre coerenti con il dimensionamento del sistema di alimentazione elettrica di trazione della parte di linea già in esercizio.

Le simulazioni sono effettuate nelle condizioni più gravose, assumendo il massimo carico di passeggeri, il massimo assorbimento dei servizi ausiliari e la marcia tesa (con inseguimento del profilo massimo di velocità della linea).

In entrambe le condizioni di traffico, sono state eseguite una serie di simulazioni al variare del sincronismo dei treni nelle due diverse direzioni di marcia: variando la sincronizzazione dei treni cambia la contemporaneità delle fasi di accelerazione e frenatura, con conseguenze sui consumi energetici, sulle cadute di tensione e sulle grandezze elettriche in genere.

Le simulazioni sono state effettuate tenendo conto della linea in configurazione completa (dalla stazione San Siro Harar con relativa asta di manovra alla stazione Monza Brianza con relativa asta di manovra); i risultati sono viceversa riportati nella presente relazione solo per le SSE e le tratte significative ai fini del dimensionamento del sistema elettrico.

3.1.2. TEMPI DI FERMATA E D'INVERSIONE

Ai fini della determinazione dei parametri caratteristici del veicolo nella tratta media viene considerato un tempo complessivo medio tra la fermata e la ripartenza di 20 s.

Il tempo minimo di inversione ai capolinea è assunto pari a 60 secondi, ad esclusione dei tempi di sosta in banchina per il carico e scarico dei passeggeri, assunto pari a 20 s sia per il capolinea di San Siro H.D. sia per il capolinea di Monza Brianza.

3.2. VEICOLO

Per i calcoli di verifica sono stati utilizzati i dati relativi al veicolo a 4 casse di fornitura Ansaldobreda, ora Hitachi Rail (Rif. Doc. [1], [4] e [11])

3.2.1. CARATTERISTICHE GENERALI DEL VEICOLO

Descrizione		**Unità misura**	**Valore**
Massa a vuoto		[kg]	79390
Massa trasportata (carico C3)		[kg]	37520
Massa totale (carico C3)		[kg]	116910
Masse Inerziali Rotanti		[kg]	9000
Percentuale Masse Inerziali Rotanti rispetto alla massa a vuoto		[%]	11,34
Lunghezza		[m]	50
Coefficienti per il calcolo della resistenza al moto in piano e rettilineo riferiti alle condizioni di carico del veicolo richiesta nella simulazione	a	[N]	2867,2
	b	[N·s/m]	0
	c	[N·s^2/m^2]	16,52
Coefficiente di resistenza al moto in curva		[N·m/kg]	4,9
Velocità massima		[km/h]	80
Accelerazione massima di servizio		[m/s^2]	1,1
Decelerazione massima di servizio		[m/s^2]	1,1
Carico medio dei servizi ausiliari		[kW]	105
Rendimento (da pantografo al cerchione e viceversa)		-	0,85
Tensione nominale		[V]	750
Tensione minima di funzionamento		[V]	500
Tensione massima di funzionamento		[V]	900
Tipo di frenatura (dissipativa o a recupero)		-	Rigenerativa
Velocità minima al di sotto della quale non è effettuato il recupero dell'energia		[km/h]	10

Tabella 1: dati del veicolo

3.2.2. RESISTENZA AL MOTO

La forza resistente al moto in piano e rettilineo è calcolata con la seguente formula:

$$R = a + b \times v + c \times v^2$$

dove:

- R è la forza resistente al moto in [N],
- v è la velocità espressa in [m/s],
- a, b e c sono i coefficienti riportati in Tabella 1.

I coefficienti a, b e c di resistenza al moto in piano e rettilineo e di resistenza al moto in curva di Tabella 1, sono stati calcolati a partire dalla seguente formula riportata in Rif. 1.

$$R = M \cdot 9.81 \cdot (p + A + \frac{v^2}{B}) + \frac{9.81 \cdot M \cdot C}{r}$$

dove

- R è la resistenza al moto, misurata in Newton
- M è la massa del veicolo a pieno carico, misurata in tonnellate
- p è la pendenza della linea, misurata in per mille
- A è pari a 2.5 N/t
- B è pari a 900 t $(km/h)^2/N$
- C è pari a 500 N m/t
- r è il raggio di curvatura della linea, misurato in metri
- v è la velocità del veicolo, misurata in km/h

Il fattore di galleria è incluso nel termine V^2, il tracciato si sviluppa interamente in galleria, ad eccezione di un breve tratto di circa 300m all'aperto nei pressi del bivio per il deposito.

Il valore del rendimento del veicolo è stato assunto costante su tutto il range di velocità del veicolo.

3.2.3. CARATTERISTICHE MECCANICHE ED ELETTRICHE

In Tabella 2, Tabella 3 e Figura 1 sono riportati i dati relative alle forze massime al cerchione in funzione della velocità.

Velocità[km/h]	Forza massima di trazione al cerchione[N]
0	146000
33	146000
40	120450
45	107067
50	96360
55	87600
60	73608

Velocità[km/h]	Forza massima di trazione al cerchione[N]
65	62720
70	54080
75	47109
80	41405

Tabella 2: Forza di trazione al cerchione in funzione della velocità

Velocità [km/h]	Forza massima di frenatura totale[N]	Forza massima di frenatura elettrica[N]
0	150000	0
10	150000	0
15	150000	121000
67	150000	121000
70	150000	112692
75	150000	98846
80	150000	85000

Tabella 3: Forza di frenatura totale e forza di frenatura elettrica al cerchione in funzione della velocità

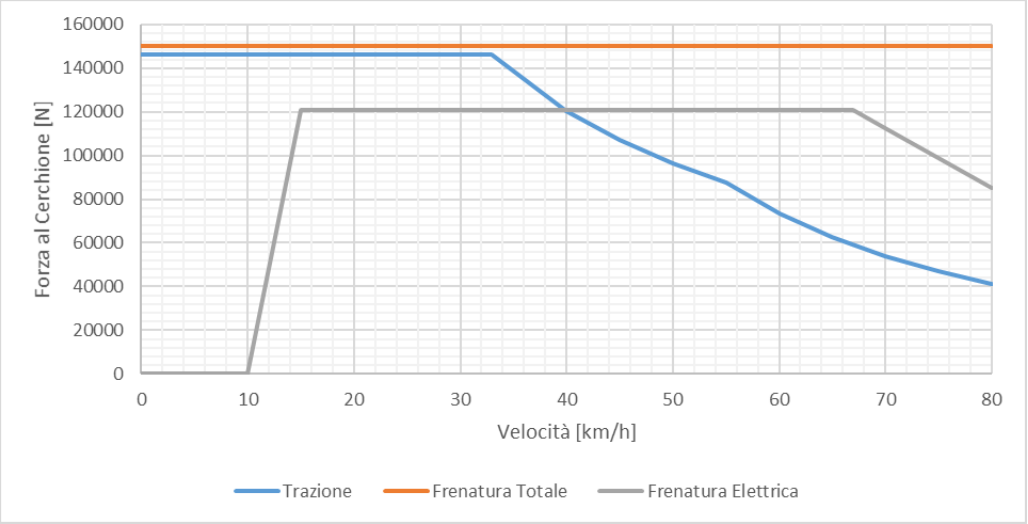


Figura 1: Forze al cerchione

Il range di funzionamento in tensione del veicolo è tra 500 e 900 [V]; le prestazioni massime del veicolo in trazione sono garantite per valori di tensione al pantografo maggiori di 650 [V].

La Figura 2 mostra l'andamento della corrente massima di linea in funzione della tensione di linea, senza considerare il contributo dei carichi ausiliari, mentre la Figura 3 mostra la variazione delle curve della forza di trazione al cerchione in funzione della tensione di linea: è stato assunto che il tratto di caratteristica a potenza costante finisca a 87600 [N], per qualsiasi valore di tensione.

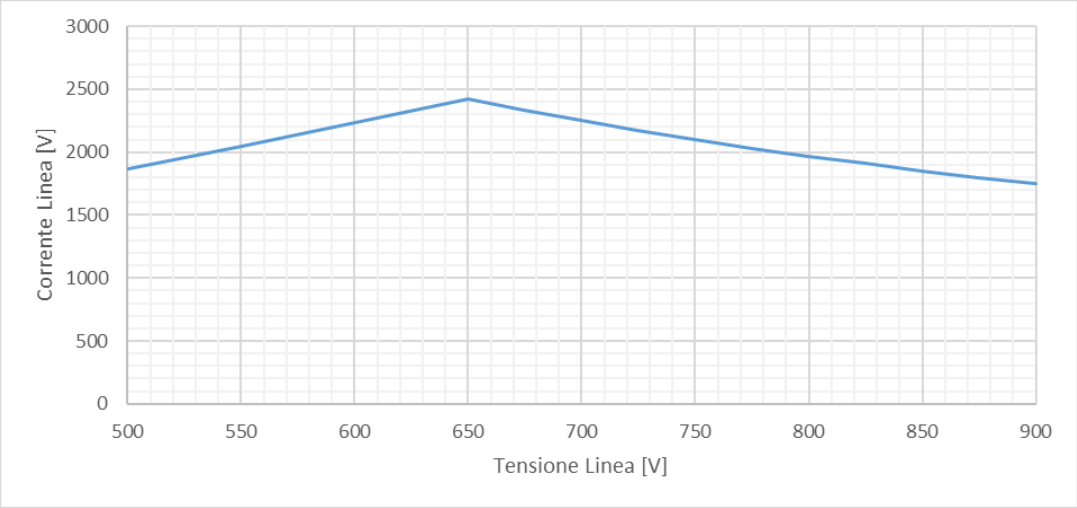


Figura 2: Corrente massima assorbita (trazione) in funzione della Tensione di Linea (senza servizi ausiliari)

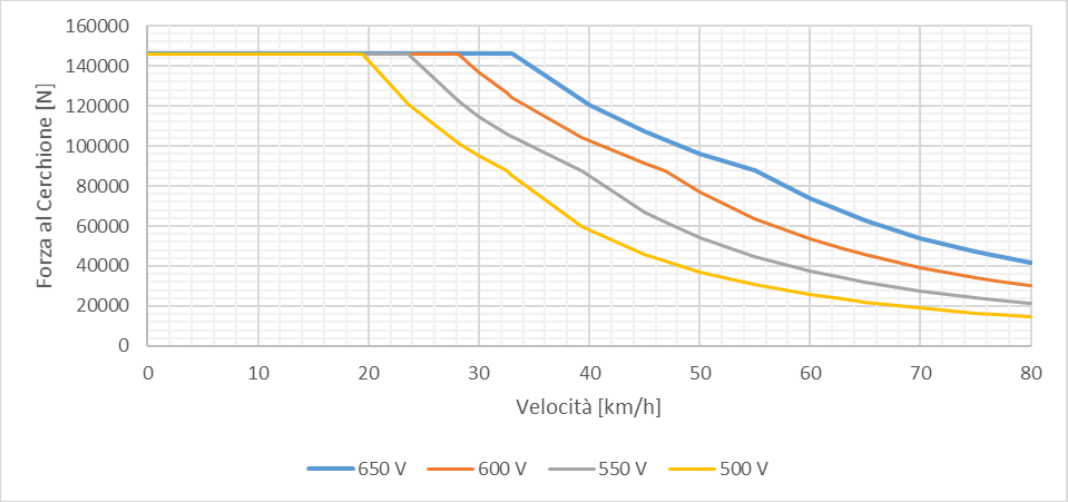


Figura 3: Degrado delle curve di trazione in funzione della tensione di linea

La Tabella 4 e la Figura 4 riportano i valori della corrente massima di linea rigenerata dall'azionamento del treno, senza tenere conto il contributo dei servizi ausiliari.

Tensione [V]	Corrente [A]
500	2552
750	2552
800	2393
850	2252
900	0

Tabella 4: corrente massima rigenerata (frenatura) in funzione della tensione di linea (senza servizi ausiliari)

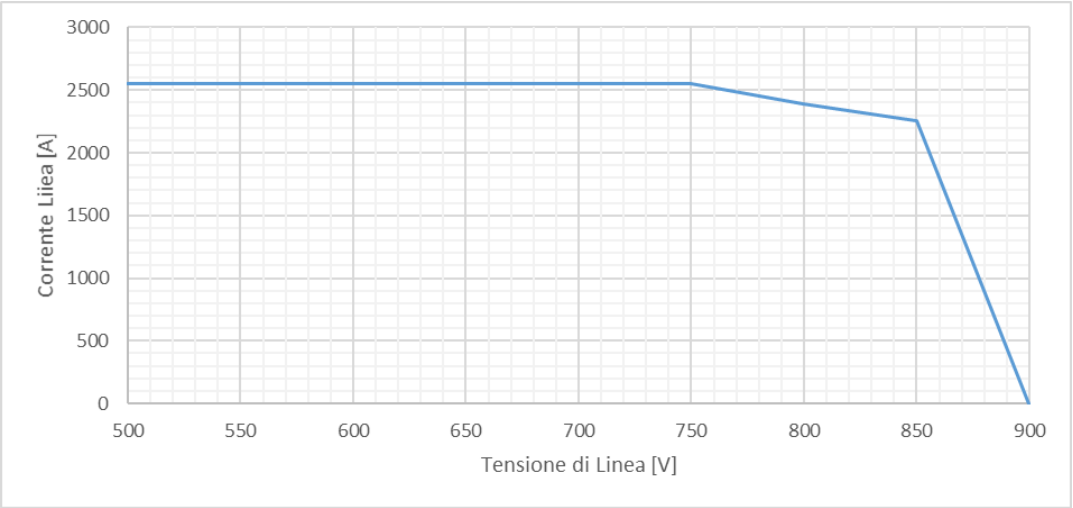


Figura 4: corrente massima rigenerata (frenatura) in funzione della tensione di linea (senza servizi ausiliari)

3.3. PRINCIPALI CARATTERITICHE DEL TRACCIATO

Il presente capitolo riassume i dati di input necessari a realizzare il modello del tracciato su cui si muovono i treni.

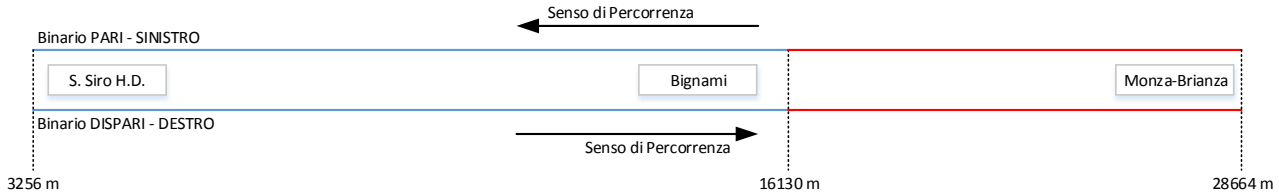


Figura 5: schema della linea

La Figura 5 mostra lo schema della linea, in cui i treni marciano a destra; il modello del tracciato comprende:

- la linea esistente da San Siro a Bignami;
- il prolungamento verso Monza.

In occasione del progetto del Secondo Lotto della Linea 5 di Milano (Garibaldi – San Siro), in corrispondenza del confine con il Primo Lotto (Bignami – Garibaldi) è stato introdotto un salto di progressiva di 10.000 m. Per semplicità nella presente relazione le progressive della tratta fra Garibaldi e Monza-Brianza sono incrementate pertanto di +10.000 m.

I disegni del prolungamento della linea si riferiscono all'asse del "binario dispari"; si assume che il binario pari del prolungamento abbia lo stesso profilo altimetrico e planimetrico del binario dispari.

Nello studio, come ipotesi conservativa si assume che l'intera linea sia in galleria, trascurando un breve tratto di 300 metri all'aperto nei pressi del bivio per il deposito e un tratto di circa 560 metri sul prolungamento verso Monza, dalla progressiva 20858 metri alla progressiva 21417 metri.

3.3.1. TRATTA SAN SIRO-BIGNAMI

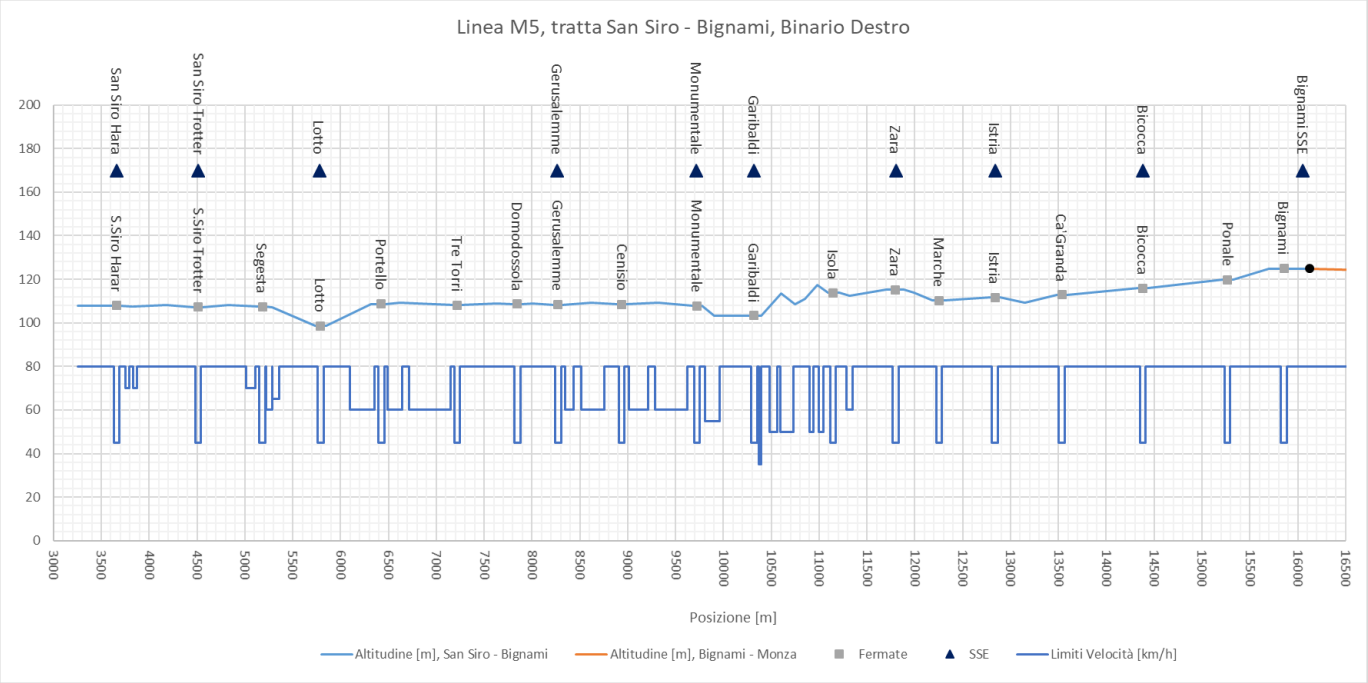


Figura 6: Linea M5, tratta San Siro – Bignami, binario destro, profili di linea

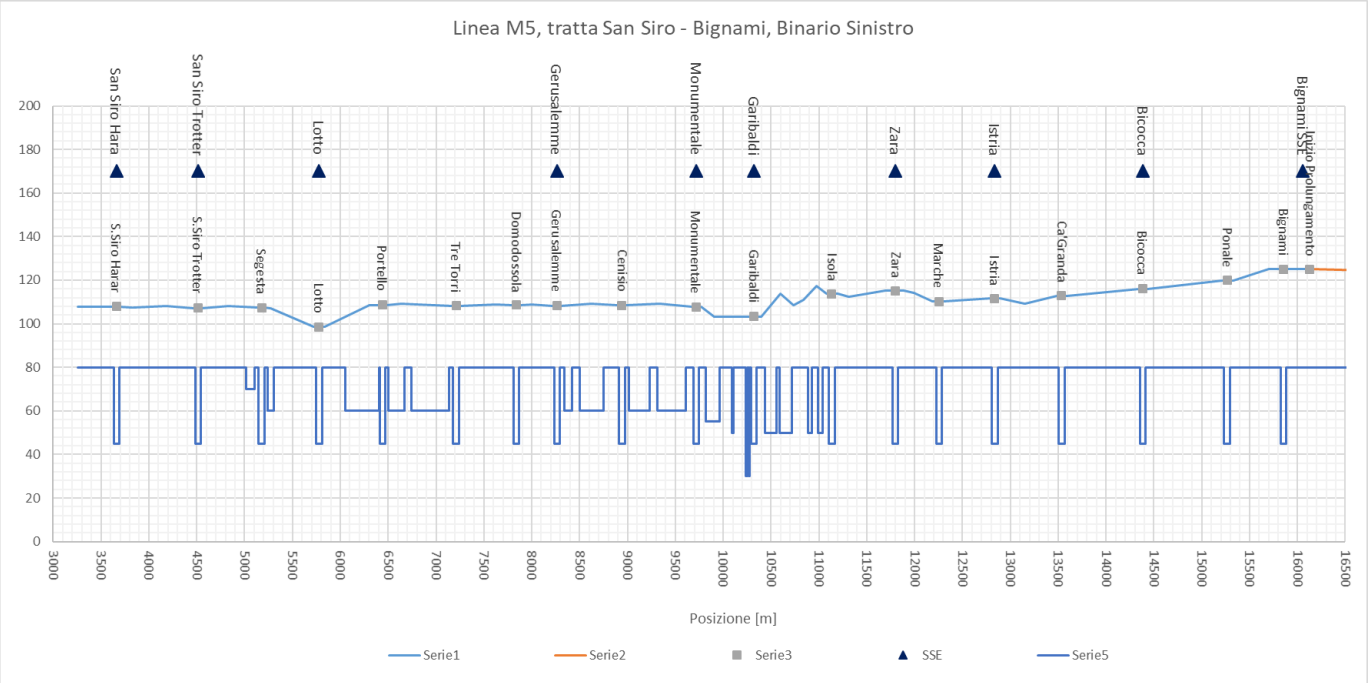


Figura 7: Linea M5, tratta San Siro – Bignami, binario sinistro, profili di linea

La Figura 6 e la Figura 7 mostrano il profilo verticale di linea, i limiti massimi di velocità, la posizione delle fermate e delle sottostazioni elettriche del binario destro e del binario sinistro della linea esistente.

I dati del profilo massimo di velocità sono stati ottenuti dai documenti di riferimento, aggiungendo una riduzione di velocità a 45 [km/h] in corrispondenza delle banchine di stazione; si è assunto che le banchine di stazione abbiano una lunghezza di 60 metri e siano centrate sulla progressiva di centro banchina.

Binario sinistro (pari)					Binario destro (dispari)				
Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota Iniziale [m]	Quota Finale [m]	Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota Iniziale [m]	Quota Finale [m]
3255,9	3693,7	0	107,9	107,9	3255,9	3693,7	0	108,0	108,0
3693,7	3825,4	-0,5	107,9	107,3	3693,7	3825,7	-0,5	108,0	107,3
3825,4	4181,1	0,2	107,3	108,0	3825,7	4181,5	0,2	107,3	108,0
4181,1	4481,2	-0,25	108,0	107,2	4181,5	4481,6	-0,25	108,0	107,3
4481,2	4544,9	0	107,2	107,2	4481,6	4545,3	0	107,3	107,3
4544,9	4829,8	0,3	107,2	108,1	4545,3	4830,3	0,3	107,3	108,1
4829,8	5145,9	-0,25	108,1	107,3	4830,3	5152,3	-0,25	108,1	107,3
5145,9	5208,3	0	107,3	107,3	5152,3	5214,5	0	107,3	107,3
5208,3	5270,9	-0,4	107,3	107,1	5214,5	5284,5	-0,4	107,3	107,1
5270,9	5725,8	-1,89	107,1	98,5	5284,5	5737,9	-1,89	107,1	98,5
5725,8	5836,4	0	98,5	98,5	5737,9	5848,5	0	98,5	98,5
5836,4	6300,4	2,15	98,5	108,4	5848,5	6314,5	2,15	98,5	108,5
6300,4	6412,9	0,19	108,4	108,7	6314,5	6399,0	0,2	108,5	108,7
6412,9	6471,4	0	108,7	108,7	6399,0	6458,0	0	108,7	108,7
6471,4	6641,8	0,38	108,7	109,3	6458,0	6618,6	0,4	108,7	109,3
6641,8	7179,4	-0,21	109,3	108,2	6618,6	7189,7	-0,2	109,3	108,2
7179,4	7239,7	0	108,2	108,2	7189,7	7249,7	0	108,2	108,2
7239,7	7623,8	0,2	108,2	108,9	7249,7	7633,8	0,2	108,2	108,9
7623,8	7807,9	-0,2	108,9	108,6	7633,8	7817,9	-0,2	108,9	108,6
7807,9	7870,0	0	108,6	108,6	7817,9	7880,4	0	108,6	108,6
7870,0	8000,4	0,3	108,6	109,0	7880,4	8010,5	0,3	108,6	109,0
8000,4	8230,5	-0,3	109,0	108,3	8010,5	8240,5	-0,3	109,0	108,3
8230,5	8295,0	0	108,3	108,3	8240,5	8305,5	0	108,3	108,3
8295,0	8619,5	0,3	108,3	109,2	8305,5	8622,0	0,3	108,3	109,2
8619,5	8910,2	-0,3	109,2	108,4	8622,0	8905,3	-0,3	109,2	108,4
8910,2	8971,2	0	108,4	108,4	8905,3	8966,5	0	108,4	108,4
8971,2	9338,8	0,24	108,4	109,3	8966,5	9318,0	0,25	108,4	109,3
9338,8	9682,8	-0,43	109,3	107,8	9318,0	9687,6	-0,4	109,3	107,8
9682,8	9774,6	0	107,8	107,8	9687,6	9779,1	0	107,8	107,8
9774,6	9905,3	-3,42	107,8	103,3	9779,1	9906,8	-3,5	107,8	103,3
9905,3	10000,0	0	103,3	103,3	9906,8	10000,0	0	103,3	103,3
10000,0	10393,5	0	103,3	103,3	10000,0	10397,7	0	103,3	103,3

Binario sinistro (pari)					Binario destro (dispari)				
Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota Iniziale [m]	Quota Finale [m]	Da [m]	A [m]	Pendenza [%]	Quota Iniziale [m]	Quota Finale [m]
10393,5	10600,3	5,001	103,3	113,6	10397,7	10606,3	4,957	103,3	113,6
10600,3	10735,2	-3,847	113,6	108,5	10606,3	10745,6	-3,725	113,6	108,5
10735,2	10842,5	2,301	108,5	110,9	10745,6	10853,3	2,294	108,5	110,9
10842,5	10971,9	4,995	110,9	117,4	10853,3	10981,0	5,058	110,9	117,4
10971,9	11078,6	-3,428	117,4	113,7	10981,0	11089,5	-3,372	117,4	113,7
11078,6	11201,2	0	113,7	113,7	11089,5	11212,1	0	113,7	113,7
11201,2	11312,8	-1,183	113,7	112,4	11212,1	11321,0	-1,212	113,7	112,4
11312,8	11692,9	0,721	112,4	115,1	11321,0	11692,2	0,738	112,4	115,1
11692,9	11889,0	0	115,1	115,1	11692,2	11888,2	0	115,1	115,1
11889,0	11996,1	-1,064	115,1	114,0	11888,2	11992,7	-1,091	115,1	114,0
11996,1	12186,5	-2,017	114,0	110,2	11992,7	12185,7	-1,99	114,0	110,2
12186,5	12304,0	0	110,2	110,2	12185,7	12303,2	0	110,2	110,2
12304,0	12788,0	0,308	110,2	111,7	12303,2	12787,2	0,308	110,2	111,7
12788,0	12892,0	0	111,7	111,7	12787,2	12891,2	0	111,7	111,7
12892,0	13150,0	-0,996	111,7	109,1	12891,2	13149,2	-0,996	111,7	109,1
13150,0	13478,5	1,139	109,1	112,8	13149,2	13477,7	1,139	109,1	112,8
13478,5	13586,5	0	112,8	112,8	13477,7	13585,7	0	112,8	112,8
13586,5	14333,0	0,415	112,8	115,9	13585,7	14332,2	0,415	112,8	115,9
14333,0	14431,5	0	115,9	115,9	14332,2	14430,7	0	115,9	115,9
14431,5	15210,0	0,498	115,9	119,8	14430,7	15209,2	0,498	115,9	119,8
15210,0	15326,0	0	119,8	119,8	15209,2	15325,2	0	119,8	119,8
15326,0	15698,0	1,384	119,8	125,0	15325,2	15697,2	1,384	119,8	125,0
15698,0	16130,8	0	125,0	125,0	15697,2	16130,0	0	125,0	125,0

Tabella 5: Tratta San Siro - Bignami, dati profilo altimetrico

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	A [m]	Raggio Curva [m]	ID	Da [m]	A [m]	Raggio Curva [m]	ID
3255,9	3435,3	∞					
3435,3	3492,7	-1250	FL1				
3492,7	3550,1	1250	FL2				
3550,1	3814,6	∞					
3814,6	3818,3	-10000	V2				
3818,3	4984,4	∞					
4984,4	5138,8	-320	V4				
5138,8	5214,1	∞					

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Raggio Curva [m]**	**ID**	**Da [m]**	**A [m]**	**Raggio Curva [m]**	**ID**
5214,1	5342,7	250	V6				
5342,7	6053,2	∞					
6053,2	6403,1	200	V8	3255,9	3736,1	∞	
6403,1	6473,4	∞		3736,1	3816,5	500	V1
6473,4	6701,1	265	V10	3816,5	3897,2	-500	V3
6701,1	7177,2	-190	V12	3897,2	4984,4	∞	
7177,2	8298,4	∞		4984,4	5145,4	-335	V5
8298,4	8464,1	-200	V14	5145,4	5219,9	∞	
8464,1	8786,8	200	V16	5219,9	5355,3	-265	V7
8786,8	8975,2	∞		5355,3	6060,1	∞	
8975,2	9269,6	202	V18	6060,1	6394,5	190	V9
9269,6	9607,3	-190	V20	6394,5	6459,7	∞	
9607,3	9778,1	∞		6459,7	6676,0	250	V11
9778,1	10000,3	154	V22	6676,0	7187,1	-205	V13
10000,3	10048,4	∞		7187,1	8308,5	∞	
10048,4	10111,2	-560	2s	8308,5	8471,9	-200	V15
10111,2	10213,9	∞		8471,9	8792,4	200	V17
10213,9	10263,2	-180	3s	8792,4	8970,3	∞	
10263,2	10284,7	335	4s	8970,3	9249,8	190	V19
10284,7	10404,5	∞		9249,8	9665,9	-203	V21
10404,5	10574,5	-250	61s	9665,9	9769,6	∞	
10574,5	10765,4	-106	62s	9769,6	10000,0	150	V23
10765,4	10857,1	∞		10000,0	10075,4	∞	
10857,1	10959,7	154	7s	10075,4	10129,6	-400	2
10959,7	11067,0	-150	8s	10129,6	10208,3	∞	
11067,0	11283,7	∞		10208,3	10242,6	189	3
11283,7	11490,3	300	9s	10242,6	10285,8	-117	4
11490,3	11836,2	∞		10285,8	10363,7	∞	
11836,2	11941,7	330	10s	10363,7	10402,7	-160	5
11941,7	12050,5	-330	11s	10402,7	10454,2	∞	
12050,5	12076,4	1750	12s	10454,2	10579,7	-254	61
12076,4	12127,4	∞		10579,7	10776,5	-110	62
12127,4	12156,6	1750	13s	10776,5	10868,0	∞	
12156,6	12185,8	-1750	14s	10868,0	10968,7	150	7
12185,8	15732,5	∞		10968,7	11078,1	-154	8
15732,5	15761,6	-1750	15s	11078,1	11248,8	∞	

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	A [m]	Raggio Curva [m]	ID	Da [m]	A [m]	Raggio Curva [m]	ID
15761,6	15790,8	1750	16s	11248,8	11383,3	190	9
15790,8	15921,0	∞		11383,3	11836,0	∞	
15921,0	15950,2	1750	17s	11836,0	11940,5	-330	10
15950,2	15979,4	-1750	18s	11940,5	12045,0	330	11
15979,4	16130,8	∞		12045,0	16130,0	∞	

Tabella 6: Tratta San Siro - Bignami, dati profilo planimetrico

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	A [m]	Velocità [km/h]	Commento	Da [m]	A [m]	Velocità [km/h]	Commento
				3255,9	3631,2	80	
				3631,2	3691,2	45	S. Siro Harar
				3691,2	3756,1	80	
3255,9	3631,2	80		3756,1	3796,5	70	Curva raggio 500 m
3631,2	3691,2	45	S. Siro Harar	3796,5	3836,5	80	
3691,2	4482,4	80	-	3836,5	3877,2	70	Curva raggio 500 m
4482,4	4542,4	45	S. Siro Trotter	3877,2	4482,8	80	
4542,4	5016,4	80		4482,8	4542,8	45	S. Siro Trotter
5016,4	5106,8	70	Curva raggio 320 m	4542,8	5017,2	80	
5106,8	5147,3	80		5017,2	5112,7	70	Curva raggio 335 m
5147,3	5207,3	45	Segesta	5112,7	5153,5	80	
5207,3	5244,1	80		5153,5	5213,5	45	Segesta
5244,1	5306,7	60	Curva raggio 250 m	5213,5	5220,5	80	
5306,7	5749,1	80		5220,5	5284,5	60	Curva raggio 265 m
5749,1	5809,1	45	Lotto	5284,5	5355,3	65	Curva raggio 265 m
5809,1	6053,2	80		5355,3	5761,2	80	
6053,2	6403,1	60	Curva raggio 200 m	5761,2	5821,2	45	Lotto
6403,1	6410,8	80		5821,2	6100,1	80	
6410,8	6470,8	45	Portello	6100,1	6354,5	60	Curva raggio 190 m
6470,8	6503,4	80		6354,5	6397,0	80	
6503,4	6671,1	60	Curva raggio 265 m	6397,0	6457,0	45	Portello
6671,1	6741,1	80		6457,0	6489,7	80	
6741,1	7137,2	60	Curva raggio 190 m	6489,7	6646,0	60	Curva raggio 250 m
7137,2	7179,7	80		6646,0	6716,0	80	
7179,7	7239,7	45	Tre Torri	6716,0	7147,1	60	Curva raggio 205 m
7239,7	7807,9	80		7147,1	7189,7	80	
7807,9	7867,9	45	Domodossola	7189,7	7249,7	45	Tre Torri

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**	**Da [m]**	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
7867,9	8233,0	80		7249,7	7817,9	80	
8233,0	8293,0	45	Gerusalemme	7817,9	7877,9	45	Domodossola
8293,0	8338,4	80		7877,9	8243,0	80	
8338,4	8424,1	60	Curva raggio 200 m	8243,0	8303,0	45	Gerusalemme
8424,1	8504,1	80		8303,0	8348,5	80	
8504,1	8746,8	60	Curva raggio 200 m	8348,5	8431,9	60	Curva raggio 200 m
8746,8	8912,7	80		8431,9	8511,9	80	
8912,7	8972,7	45	Cenisio	8511,9	8752,4	60	Curva raggio 200 m
8972,7	9015,2	80		8752,4	8907,8	80	
9015,2	9229,6	60	Curva raggio 202 m	8907,8	8967,8	45	Cenisio
9229,6	9309,6	80		8967,8	9010,3	80	
9309,6	9607,3	60	Curva raggio 190 m	9010,3	9209,8	60	Curva raggio 190 m
9607,3	9688,4	80		9209,8	9289,8	80	
9688,4	9748,4	45	Monumentale	9289,8	9625,9	60	Curva raggio 202 m
9748,4	9816,7	80		9625,9	9692,6	80	
9816,7	9962,9	55	Curva raggio 154 m	9692,6	9752,6	45	Monumentale
9962,9	10094,8	80		9752,6	9809,6	80	
10094,8	10111,2	50	Curva raggio 400 m	9809,6	9962,9	55	Curva raggio 160 m
10111,2	10239,5	80		9962,9	10291,9	80	
10239,5	10253,2	30	Curva raggio 103 m	10291,9	10351,9	45	Garibaldi
10253,2	10269,9	80		10351,9	10373,7	80	
10269,9	10278,0	30	Curva raggio 155 m	10373,7	10392,7	35	Curva raggio 160 m
10278,0	10290,0	80		10392,7	10485,4	80	
10290,0	10350,0	45	Garibaldi	10485,4	10560,9	50	Curva raggio 254 m
10350,0	10437,2	80		10560,9	10598,5	80	
10437,2	10556,1	50	Curva raggio 250 m	10598,5	10729,0	50	Curva raggio 110 m
10556,1	10593,0	80		10729,0	10898,5	80	
10593,0	10718,6	50	Curva raggio 106 m	10898,5	10938,1	50	Curva raggio 150 m
10718,6	10888,0	80		10938,1	10999,5	80	
10888,0	10928,9	50	Curva raggios 154 m	10999,5	11047,2	50	Curva raggio 154 m
10928,9	10990,3	80		11047,2	11115,3	80	
10990,3	11036,5	50	Curva raggio 150 m	11115,3	11175,3	45	Isola
11036,5	11104,4	80		11175,3	11282,8	80	
11104,4	11164,4	45	Isola	11282,8	11349,3	60	Curva raggio 190 m
11164,4	11769,7	80		11349,3	11769,0	80	
11769,7	11829,7	45	Zara	11769,0	11829,0	45	Zara

Binario sinistro (pari)				Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**	**Da [m]**	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
11829,7	12226,2	80		11829,0	12225,4	80	
12226,2	12286,2	45	Marche	12225,4	12285,4	45	Marche
12286,2	12806,8	80		12285,4	12806,0	80	
12806,8	12866,8	45	Istria	12806,0	12866,0	45	Istria
12866,8	13505,8	80		12866,0	13505,0	80	
13505,8	13565,8	45	Ca'Granda	13505,0	13565,0	45	Ca'Granda
13565,8	14353,9	80		13565,0	14353,1	80	
14353,9	14413,9	45	Bicocca	14353,1	14413,1	45	Bicocca
14413,9	15234,9	80		14413,1	15234,1	80	
15234,9	15294,9	45	Ponale	15234,1	15294,1	45	Ponale
15294,9	15825,9	80		15294,1	15825,1	80	
15825,9	15885,9	45	Bignami	15825,1	15885,1	45	Bignami
15885,9	16130,0	80		15885,1	16130,8	80	

Tabella 7: Tratta San Siro - Bignami, dati profilo velocità

Binario sinistro (pari)			Binario destro (dispari)		
Progressiva [m]	**Nome**	**Quota [m]**	**Progressiva [m]**	**Nome**	**Quota [m]**
3661,2	S. Siro Harar	107,9	3661,2	S. Siro Harar	108,0
4512,4	S. Siro Trotter	107,2	4512,8	S. Siro Trotter	107,3
5177,3	Segesta	107,3	5183,5	Segesta	107,3
5779,1	Lotto	98,5	5791,2	Lotto	98,5
6440,8	Portello	108,7	6427,0	Portello	108,7
7209,7	Tre Torri	108,2	7219,7	Tre Torri	108,2
7837,9	Domodossola	108,6	7847,9	Domodossola	108,6
8263,0	Gerusalemme	108,3	8273,0	Gerusalemme	108,3
8942,7	Cenisio	108,4	8937,8	Cenisio	108,4
9718,4	Monumentale	107,8	9722,6	Monumentale	107,8
10320,0	Garibaldi	103,3	10321,9	Garibaldi	103,3
11134,4	Isola	113,7	11145,3	Isola	113,7
11799,7	Zara	115,1	11799,0	Zara	115,1
12256,2	Marche	110,2	12255,4	Marche	110,2
12836,8	Istria	111,7	12836,0	Istria	111,7
13535,8	Ca'Granda	112,8	13535,0	Ca'Granda	112,8
14383,9	Bicocca	115,9	14383,1	Bicocca	115,9
15264,9	Ponale	119,8	15264,1	Ponale	119,8
15855,9	Bignami	125,0	15855,1	Bignami	125,0

Tabella 8: Tratta San Siro - Bignami, dati stazioni

3.3.2. TTRATTA BIGNAMI-MONZA

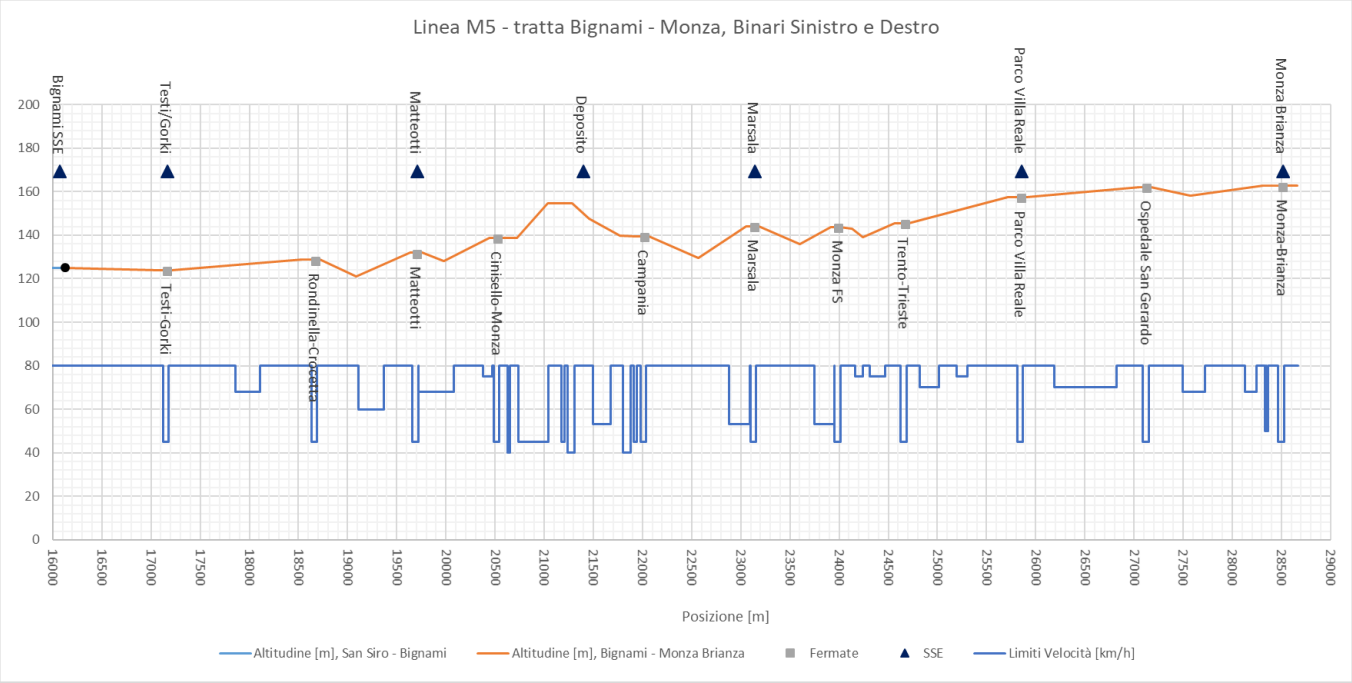


Figura 8: Linea M5, tratta Bignami – Monza, profili di linea

La Figura 8 mostra il profilo verticale di linea, i limiti massimi di velocità, la posizione delle fermate e delle sottostazioni elettriche del prolungamento da Bignami a Monza. I dati si riferiscono al binario destro, ma sono assunti uguali per il binario sinistro.

I dati del profilo massimo di velocità sono stati calcolati:

- a partire dai raggi di curvatura riportati nei documenti di riferimento;
- aggiungendo una riduzione di velocità a 45 [km/h] in corrispondenza delle banchine di stazione; si è assunto che le banchine di stazione abbiano una lunghezza di 60 metri e siano centrate sulla progressiva di centro banchina.

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)				
Da [m]	**A [m]**	**Pendenza [%]**	**Quota Iniziale [m]**	**Quota Finale [m]**
16130,0	16143,6	0,000	125,0	125,0
16143,6	17098,2	-0,110	125,0	123,9
17098,2	17199,1	0,000	123,9	123,9
17199,1	18531,6	0,370	123,9	128,8
18531,6	18723,3	0,000	128,8	128,8
18723,3	19090,2	-2,100	128,8	121,1
19090,2	19631,4	2,000	121,1	132,0
19631,4	19758,2	0,000	132,0	132,0
19758,2	19982,4	-1,700	132,0	128,1
19982,4	20438,9	2,346	128,1	138,9

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)				
Da [m]	**A [m]**	**Pendenza [%]**	**Quota Iniziale [m]**	**Quota Finale [m]**
20438,9	20719,2	0,000	138,9	138,9
20719,2	21032,2	5,000	138,9	154,5
21032,2	21285,3	0,000	154,5	154,5
21285,3	21457,8	-4,001	154,5	147,6
21457,8	21768,2	-2,500	147,6	139,8
21768,2	21938,4	-0,200	139,8	139,5
21938,4	22066,9	0,000	139,5	139,5
22066,9	22564,5	-2,000	139,5	129,5
22564,5	23051,3	3,000	129,5	144,2
23051,3	23186,3	0,000	144,2	144,2
23186,3	23598,7	-2,000	144,2	135,9
23598,7	23914,5	2,500	135,9	143,8
23914,5	24017,0	0,000	143,8	143,8
24017,0	24131,0	-0,639	143,8	143,1
24131,0	24243,2	-3,555	143,1	139,1
24243,2	24564,2	2,000	139,1	145,5
24564,2	24701,93	0,000	145,5	145,5
24701,9	25710,2	1,200	145,5	157,6
25710,2	25841,1	0,000	157,6	157,6
25841,1	25901,3	0,000	157,6	157,6
25901,3	27051,3	0,402	157,6	162,2
27051,3	27173,5	0,000	162,2	162,2
27173,5	27572,6	-1,005	162,2	158,2
27572,6	28312,7	0,600	158,2	162,7
28312,7	28531,3	0,000	162,7	162,7
28531,3	28663,2	0,100	162,7	162,8

Tabella 9: Tratta Bignami - Monza, dati profilo altimetrico

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Raggio Curva [m]**	**ID**
16130,8	16382,8	∞	
16382,8	16460,5	5002	
16460,5	16551,5	4998	
16551,5	17225,2	∞	
17225,2	17257,2	4998	

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Raggio Curva [m]**	**ID**
17257,2	17859,0	∞	
17859,0	18111,5	298	
18111,5	18709,5	∞	
18709,5	18794,1	5002	
18794,1	19110,3	∞	
19110,3	19366,8	252	
19366,8	19373,1	∞	
19373,1	19655,5	4998	
19655,5	19723,2	∞	
19723,2	20083,4	298	
20083,4	20378,1	∞	
20378,1	20468,8	502	
20468,8	20627,4	∞	
20627,4	20651,3	200	
20651,3	20739,9	∞	
20739,9	21040,0	250	
21040,0	21176,9	∞	
21176,9	21208,2	250	
21208,2	21238,1	∞	
21238,1	21312,1	200	
21312,1	21495,7	∞	
21495,7	21672,7	200	
21672,7	21804,6	∞	
21804,6	21878,6	200	
21878,6	21908,5	∞	
21908,5	21939,8	250	
21939,8	22069,6	∞	
22069,6	22331,9	1002	
22331,9	22883,8	∞	
22883,8	23090,3	198	
23090,3	23299,3	∞	
23299,3	23370,4	1002	
23370,4	23749,5	∞	
23749,5	23950,4	202	
23950,4	24162,3	∞	
24162,3	24239,5	502	

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Raggio Curva [m]**	**ID**
24239,5	24309,7	∞	
24309,7	24465,2	502	
24465,2	24817,8	∞	
24817,8	25012,8	402	
25012,8	25196,1	∞	
25196,1	25307,0	498	
25307,0	26185,8	∞	
26185,8	26822,1	402	
26822,1	27493,8	∞	
27493,8	27726,0	298	
27726,0	28126,2	∞	
28126,2	28245,3	302	
28245,3	28328,7	∞	
28328,7	28341,5	300	
28341,5	28351,5	∞	
28351,5	28364,3	300	
28364,3	28445,6	∞	
28445,6	28460,4	3000	
28460,4	28642,3	∞	
28642,3	28657,1	3000	
28657,1	28663,2	∞	

Tabella 10: Tratta Bignami - Monza, dati profilo planimetrico

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
16130,8	16382,8	80	
16382,8	16460,5	80	Curva raggio 5000 m
16460,5	16551,5	80	Curva raggio 5000 m
16551,5	17121,2	80	
17121,2	17181,2	45	Testi-Gorki
17181,2	17225,2	80	
17225,2	17257,2	80	Curva raggio 5000 m
17257,2	17859,0	80	
17859,0	18111,5	68	Curva raggio 300 m
18111,5	18631,8	80	

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
18631,8	18691,8	45	Rondinella-Crocetta
18691,8	18709,5	80	
18709,5	18794,1	80	Curva raggio 5000 m
18794,1	19110,3	80	
19110,3	19366,8	60	Curva raggio 250 m
19366,8	19373,1	80	
19373,1	19655,5	80	Curva raggio 5000 m
19655,5	19661,8	80	
19661,8	19721,8	45	Matteotti
19721,8	19723,2	80	
19723,2	20083,4	68	Curva raggio 300 m
20083,4	20378,1	80	
20378,1	20468,8	75	Curva raggio 500 m
20468,8	20484,3	80	
20484,3	20544,3	45	Cinisello-Monza
20544,3	20627,4	80	
20627,4	20651,3	40	Curva raggio 200 m
20651,3	20739,9	80	
20739,9	21040,0	45	Curva raggio 250 m
21040,0	21176,9	80	
21176,9	21208,2	45	Curva raggio 250 m
21208,2	21238,1	80	
21238,1	21312,1	40	Curva raggio 200 m
21312,1	21495,7	80	
21495,7	21672,7	53	Curva raggio 200 m
21672,7	21804,6	80	
21804,6	21878,6	40	Curva raggio 200 m
21878,6	21908,5	80	
21908,5	21939,8	45	Curva raggio 250 m
21939,8	21977,5	80	
21977,5	22037,5	45	Campania
22037,5	22069,6	80	
22069,6	22331,9	80	Curva raggio 1000 m
22331,9	22883,8	80	
22883,8	23090,3	53	Curva raggio 200 m
23090,3	23096,9	80	

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
23096,9	23156,9	45	Marsala
23156,9	23299,3	80	
23299,3	23370,4	80	Curva raggio 1000 m
23370,4	23749,5	80	
23749,5	23950,4	53	Curva raggio 200 m
23950,4	23952,6	80	
23952,6	24012,6	45	Monza FS
24012,6	24162,3	80	
24162,3	24239,5	75	Curva raggio 500 m
24239,5	24309,7	80	
24309,7	24465,2	75	Curva raggio 500 m
24465,2	24627,5	80	
24627,5	24687,5	45	Trento-Trieste
24687,5	24817,8	80	
24817,8	25012,8	70	Curva raggio 400 m
25012,8	25196,1	80	
25196,1	25307,0	75	Curva raggio 500 m
25307,0	25811,7	80	
25811,7	25871,7	45	Parco Villa Reale
25871,7	26185,8	80	
26185,8	26822,1	70	Curva raggio 400 m
26822,1	27089,1	80	
27089,1	27149,1	45	Ospedale San Gerardo
27149,1	27493,8	80	
27493,8	27726,0	68	Curva raggio 300 m
27726,0	28126,2	80	
28126,2	28245,3	68	Curva raggio 300 m
28245,3	28328,7	80	
28328,7	28341,5	50	Curva raggio 300 m
28341,5	28351,5	80	
28351,5	28364,3	50	Curva raggio 300 m
28364,3	28445,6	80	
28445,6	28460,4	80	Curva raggio 3000 m
28460,4	28469,4	80	
28469,4	28529,4	45	Monza-Brianza
28529,4	28642,3	80	

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)			
Da [m]	**A [m]**	**Velocità [km/h]**	**Commento**
28642,3	28657,1	80	Curva raggio 3000 m
28657,1	28663,2	80	

Tabella 11: Tratta Bignami - Monza, dati profilo velocità

Binario sinistro (pari) e Binario destro (dispari)		
Progressiva [m]	**Nome**	**Quota [m]**
17151,2	Testi-Gorki	123,9
18661,8	Rondinella-Crocetta	128,8
19691,8	Matteotti	132,0
20514,3	Cinisello-Monza	138,9
22007,5	Campania	139,5
23126,9	Marsala	144,2
23982,6	Monza FS	143,8
24657,5	Trento-Trieste	145,5
25841,7	Parco Villa Reale	157,6
27119,1	Ospedale San Gerardo	162,2
28499,4	Monza-Brianza	162,7

Tabella 12: Tratta Bignami - Monza, dati stazioni

3.4. CONDIZIONI AMBIENTALI

Il range di temperatura per le sezioni di linea all'aria aperta è assunto pari a 0 ÷ 40 [°C], mentre il range di temperatura per le sezioni di linea in galleria è assunto pari a 15 ÷ 25 [°C].

3.5. STRUTTURA DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

La

Tabella *13* riporta la posizione delle SSE e la potenza installata del raddrizzatore.

SSE	Progressiva [m]	Potenza raddrizzatore [kW]
San Siro Hara	3661	3000
San Siro Trotter	4512	3000
Lotto	5779	3000
Gerusalemme	8263	3000
Monumentale	9718	3000
Garibaldi	10320	2500
Zara	11800	2500
Istria	12837	2500
Bicocca	14384	2500
Bignami SSE	16055	2500
Testi/Gorki	**17151**	**3000**
Matteotti	**19692**	**3000**
Deposito	**21382**	**3000**
Marsala	**23127**	**3000**
Parco Villa Reale	**25842**	**3000**
Monza Brianza	**28499**	**3000**

Tabella 13: posizione delle SSE e potenza installata (in grassetto le nuove 6 SSE)

La Tabella 14 riporta i dati caratteristici delle tre tipologie di SSE utilizzate.

	Descrizione	Gruppo da 3000 kW San Siro – Monumentale	Gruppo da 2500 kW Garibaldi - Bignami	Gruppo da 3000 kW Testi/Gorki – Monza Brianza
Trasformatore	Potenza nominale HV/LV1/LV2 [kVA]	3150/1575/1575	2770/1385/1385	3150/1575/1575
	Tensione nominale HV/LV1/LV2 [V]	23kV/590V/590V	23kV/590V/590V	23kV/590V/590V
	Tipo di connessione	Dd0y11	Dd0y11	Dd0y11
	Perdite dovute al carico [kW]	25	21	25
	Tensione di cortocircuito HV/LV1 HV/LV2 LV1/LV2	 7% @ 1575 kVA 7% @ 1575 kVA <1% @ 1575 kVA	 7% @ 1385 kVA 7% @ 1385 kVA <1% @ 1385 kVA	 7% @ 1575 kVA 7% @ 1575 kVA <1% @ 1575 kVA
	K (fattore di reattanza)	0,929	0,929	0,929
	Perdite a vuoto [kW]	6	5.5	6
Raddrizzatore	Tipo	Dodecafase parallelo	Dodecafase parallelo	Dodecafase parallelo
	Potenza nominale [kW]	3000	2500	3000
	Tensione nominale[V]	750	750	750
	Corrente nominale [A]	4000	3333	4000
	Tensione a vuoto [V]	796	796	796
	Resistenza interna [Ω]	0,0092	0,0100	0,0092
	Classe di sovraccarico	V 100 [%], continuo => 4000 [A] 150 [%], due ore => 6000 [A] 200 [%], 1 minuto => 8000 [A]	V 100 [%], continuo => 3333 [A] 150 [%], due ore => 5000 [A] 200 [%], 1 minuto => 6666 [A]	V 100 [%], continuo => 4000 [A] 150 [%], due ore => 6000 [A] 200 [%], 1 minuto => 8000 [A]

Tabella 14: dati caratteristici delle SSE

Una delle 6 sottostazioni di linea è ubicata presso il Deposito di nuova costruzione ed è equipaggiata con:

- due trasformatori di gruppo, di cui uno dedicato alla linea ed uno al deposito;
- due gruppi raddrizzatori, di cui uno dedicato alla linea ed uno al deposito;
- un quadro di corrente continua con interruttori extrarapidi di alimentazione e protezione della linea di trazione a 750 Vcc nominali;
- un armadio di sezionatori di prima e seconda fila;
- feeder per l'alimentazione della terza rotaia della linea di trazione più l'alimentazione della tratta tampone.

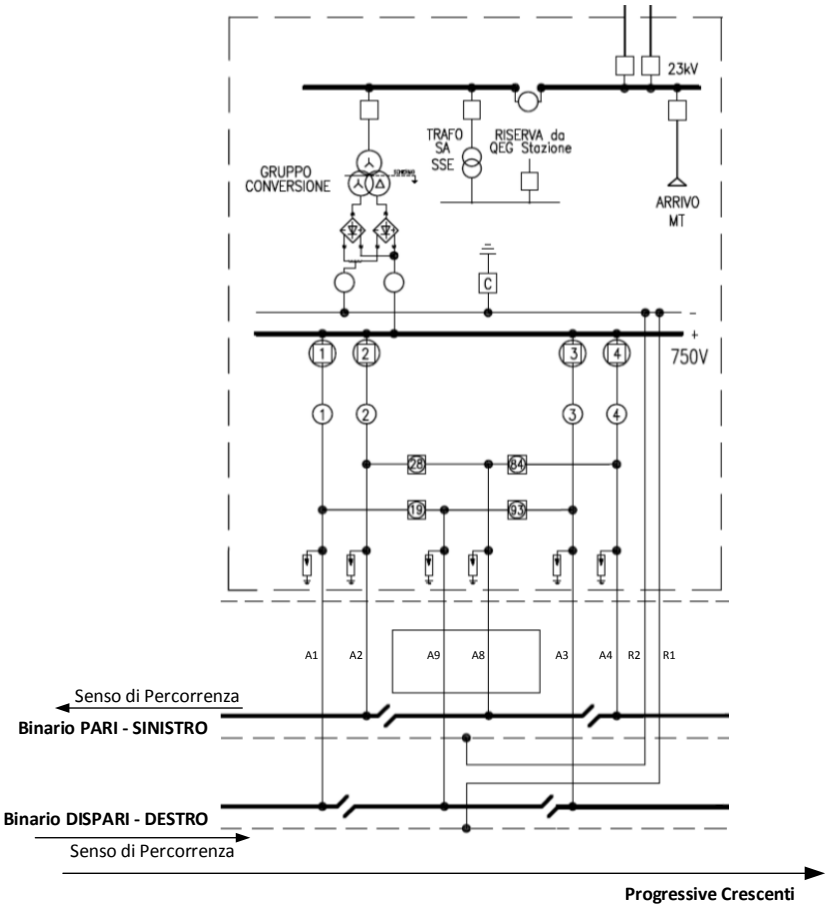


Figura 9: schema semplificato della SSE

In Figura 9 è mostrato il modello semplificato della SSE, utilizzato nelle simulazioni:

- Sono esclusi dal modello del sistema per le simulazioni:
  - i sezionatori 1, 2, 3 e 4;
  - il limitatore di tensione C.
- Il modello di Figura 9 è adottato sia per le SSE della tratta esistente che per le SSE del prolungamento verso Monza.
- In ciascuna SSE è presente un solo gruppo di conversione.
- È presente un tratto neutro sul circuito positivo, alimentato tramite i sezionatori di seconda fila; in condizioni di normale funzionamento della SSE sono chiusi i sezionatori 28 e 93 e aperti i sezionatori 19 e 84.
- Si assume che il tratto neutro abbia una lunghezza di 100 metri che corrisponde alla lunghezza di due treni da 4 casse accoppiati.
- In caso di guasto totale o fuori servizio della SSE, è prevista l'apertura dei quattro interruttori extrarapidi (1, 2, 3 e 4) e la chiusura di tutti i sezionatori di seconda fila (28, 84, 19 e 93).
- Gli alimentatori positivi A1, A2, A3 e A4 di Figura 9 sono costituiti ciascuno da 3 cavi unipolari in rame da 500 [mm^2];
- Gli alimentatori positivi A8 e A9 di Figura 9 (tratto neutro) sono costituiti, come ipotesi conservativa, da 1 cavo unipolare in rame da 500 [mm^2];
- Gli alimentatori negativi R1 e R2 di Figura 9 sono costituiti ciascuno da 6 cavi unipolari da 500 [mm^2] in rame.

- La lunghezza media degli alimentatori è assunta pari a 100 metri per tutte le SSE, tranne che per il Deposito ove la lunghezza è pari a 350 metri.
- La numerazione degli interruttori e sezionatori di Figura 9 è assunta per tutte le SSE della linea, indipendentemente da un'eventuale diversa numerazione presente sul campo.

Cavo	**Resistenza [Ω/km] a 20 [°C]**	**Temperatura di esercizio [°C]**	**Resistenza alla temperatura di esercizio [Ω/km]**
1x500 Cu	0,0366	40	0,0395

Tabella 15:dati cavo per alimentatori

In Tabella 15 sono riportati i dati relativi al cavo utilizzato per gli alimentatori di SSE. Per il calcolo della resistenza elettrica, si assume una temperatura di esercizio del cavo pari a 40 [°C].

In Tabella 16 è riportata la portata in corrente degli alimentatori di SSE.

Alimentatori	**Composizione**	**Portata in corrente [A]**	**Note**
Alimentatori Positivi	1x1x500 Cu	862	
Alimentatori Positivi	3x1x500 Cu	2586	
Alimentatori Negativi	6x1x500 Cu	4310	Calcolata in configurazione N-1 (5 cavi in esercizio)

Tabella 16: portata in corrente alimentatori di SSE

Di seguito, invece, sono riportate le distanze fra le SSE:

Distanze SSE [m]	
Fra Inizio linea e S.Siro Harar	150,0
Fra S.Siro Harar e S.Siro Trotter	851,2
Fra S.Siro Trotter e Lotto	1266,7
Fra Lotto e Gerusalemme	2483,9
Fra Gerusalemme e Monumentale	1455,4
Fra Monumentale e Garibaldi	601,6
Fra Garibaldi e Zara	1479,7
Fra Zara e Istria	1037,1
Fra Istria e Bicocca	1547,1
Fra Bicocca e Bignami SSE	1671,1

Fra Bignami SSE e Testi/Gorki	1039,9
Fra Testi/Gorki e Matteotti	2355
Fra Matteotti e Raccordo Deposito 1	1857,3
Fra Raccordo Deposito 1 e Marsala	1828,7
Fra Marsala e Parco Villa Reale	2840
Fra Parco Villa Reale e Monza Brianza	2650
Fra Monza Brianza e Fine linea	164,4

Nella Figura 10 che segue è riportato uno schema della linea utilizzato nelle simulazioni, sul quale sono riassunte, per la tratta di nuova costruzione e per la parte di linea esistente considerata ai fini dei calcoli della presente relazione, le progressive e le interdistanze relative alle stazioni, alle sottostazioni ed ai punti particolari della linea.

La Figura 11 riporta le medesime informazioni aggiornate all'ultima versione del tracciato facente parte del presente pacchetto progettuale (si veda a proposito quanto indicato al Capitolo 2 - Generalità).

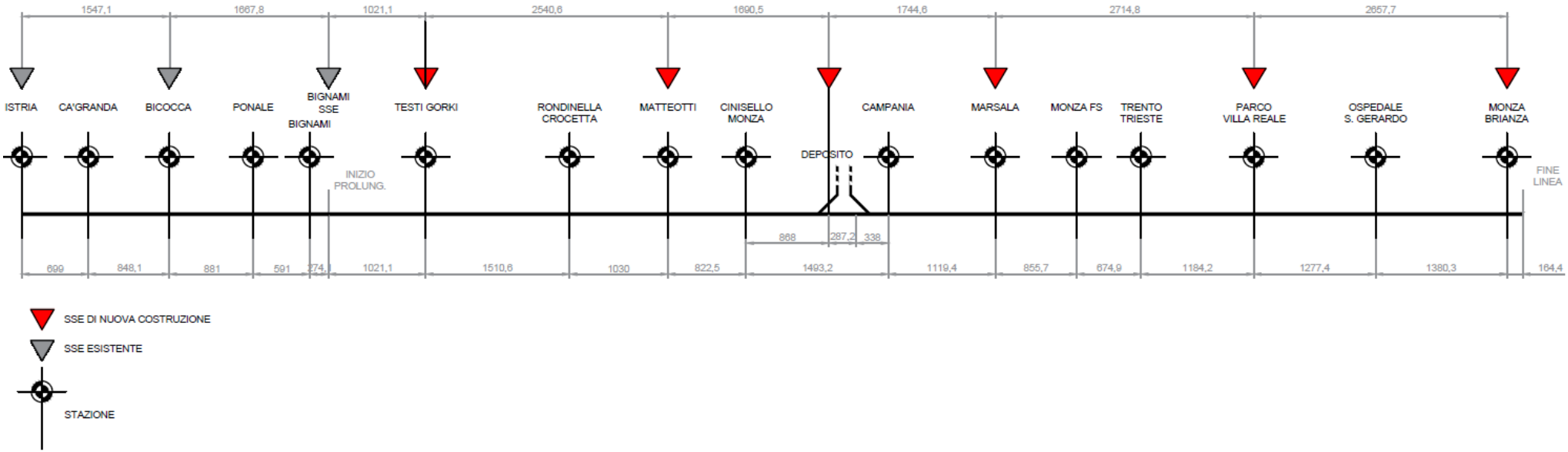


Figura 10 Schema della linea con ubicazione SSE utilizzato nelle simulazioni

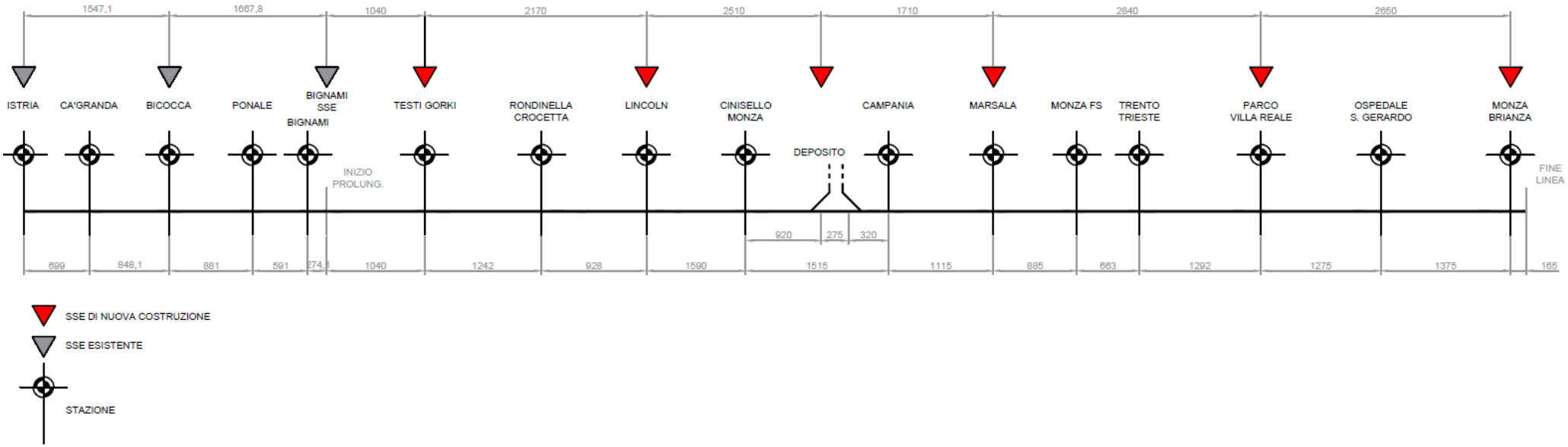


Figura 11 Schema della linea con ubicazione SSE di progetto

3.6. CIRCUITO DI ALIMENTAZIONE

La linea di contatto della Linea 5 di Milano è costituita da una terza rotaia a captazione dal basso di alluminio con rivestimento in acciaio inossidabile e con coperture isolanti sulle tre facce non interferenti con i pantopattini dei veicoli.

Per il prolungamento in fase di progetto è prevista l'estensione di tale sistema di linea di contatto.

La resistenza nominale della terza rotaia considerata nei calcoli è ottenuta facendo l'inviluppo dei valori riscontrati nei progetti di Primo Lotto (Garibaldi – Bignami) e Secondo Lotto (San Siro - Garibaldi) della Linea 5 e tenendo cautelativamente conto di una temperatura massima pari a 40°C e dell'usura. Il valore di resistenza per unità di lunghezza della terza rotaia così ottenuto è pari a 9 mΩ/km.

Sono presenti tratti neutri (alimentati) di fronte le singole sottostazioni di lunghezza pressoché uguale alla lunghezza complessiva di due treni 4 casse accoppiati.

Ciascuna tratta di linea di contatto a Terza Rotaia è collegata alle due SSE limitrofe tramite alimentatori positivi, al momento considerati costituiti da n. 3 cavi da 500 mm².

La portata permanente in corrente della terza rotaia è pari a 2670 [A].

3.7. CIRCUITO DI RITORNO

Per tutta l'estensione della Linea 5 il binario è costituito da rotaie da 50 kg di tipo UNI50, la cui resistenza per unità di lunghezza è assunta pari a 20 [mΩ/km]. La conduttanza verso terra del binario è assunta in via conservativa pari a 0,01 [S/km].

Nella tratta di linea dalla SSE di Parco Villa Reale alla SSE di Monza Brianza il circuito di ritorno è stato rinforzato con l'introduzione di due cavi da 400 mm^2 in rame (Tabella 17) per ciascun binario.

I cavi sono collegati al binario ogni 600 m circa; inoltre è previsto un collegamento di parallelo tra il binario pari e il binario dispari in corrispondenza dei punti in cui i cavi di rinforzo sono collegati al binario.

Cavo	**Resistenza [Ω/km] a 20 [°C]**	**Temperatura di esercizio [°C]**	**Resistenza alla temperatura di esercizio [Ω/km]**
1x400 Cu	0,047	40	0,0507

Tabella 17: Dati cavi di rinforzo

4. CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Le cadute di tensione al pantografo devono rispettare i limiti imposti dalla norma EN 50163:2006-10 ed in particolare per i sistemi con tensione nominale di 750 [V]:

- tensione permanente minima (U_{min1}) uguale 500 [V],
- tensione permanente massima (U_{max1}) pari a 900 [V],
- tensione non permanente massima (U_{max2}) pari a 1000 [V],
- la durata delle tensioni tra U_{max1} e U_{max2} non deve superare 5 minuti.

Il range di funzionamento in tensione del veicolo è tra 500 e 900 [V].

Il valore massimo ammesso del potenziale del binario verso terra deve essere inferiore a 120 [V] così come definito nella norma EN 50122-1:2012-08 come valore massimo della tensione effettiva di contatto di lunga durata ammissibile.

Sia in condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione, che nelle condizioni di degrado il dimensionamento delle nuove SSE è stato effettuato in base alla corrente nominale dei raddrizzatori, senza tenere in conto delle caratteristiche di sovraccarico dei gruppi di conversione.

La portata massima in corrente della terza rotaia e dei conduttori è verificata appurando che il valore RMS della corrente, calcolata nel cadenzamento o in un multiplo del cadenzamento, sia inferiore al valore della portata a regime (il valore del cadenzamento massimo analizzato è nello stesso ordine di grandezza della costante termica dei conduttori.

Le correnti minime di corto circuito in linea devono essere coerenti con la possibilità di taratura degli extrarapidi, ovvero devono essere maggiori dei valori massimi di corrente erogata dai singoli alimentatori.

5. DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO DI SIMULAZIONE

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando il software TrainsRunner sviluppato da Setteidea S.r.l in Genova.

TrainsRunner 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 CC e uno per sistemi in CA.

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 CC, 1.5 kV CC, 750 V CC, 600 V CC, 1x25 kV 50 Hz, 2x25 kV 50 Hz, 15 kW 16,7 Hz.

Il software TrainsRunner 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.

6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

6.1. SIMULAZIONI IN NORMALE FUNZIONAMENTO, CON CADENZAMENTO DI 75 SECONDI

La Tabella 18 elenca i casi di simulazioni al variare della configurazione del sistema di alimentazione. Per ciascun caso di simulazione sono state eseguite cinque simulazioni al variare del sincronismo dei treni in partenza in direzione opposta.

Cadenzamento [s]	Configurazione Rete Elettrica
75	Normale funzionamento

Tabella 18: Cadenzamento di 75 [s], elenco scenari di simulazione

6.1.1. ORARIO SIMULATO

Nelle seguenti figure è mostrato l'orario simulato in funzione del sincronismo dei treni. Sull'asse delle ascisse è riportato il tempo in secondi mentre sull'asse delle ordinate è riportata la posizione delle stazioni.

Con il cadenzamento di 75 [s] sono mediamente presenti in linea 68 treni, 34 in direzione pari e 34 in direzione dispari.

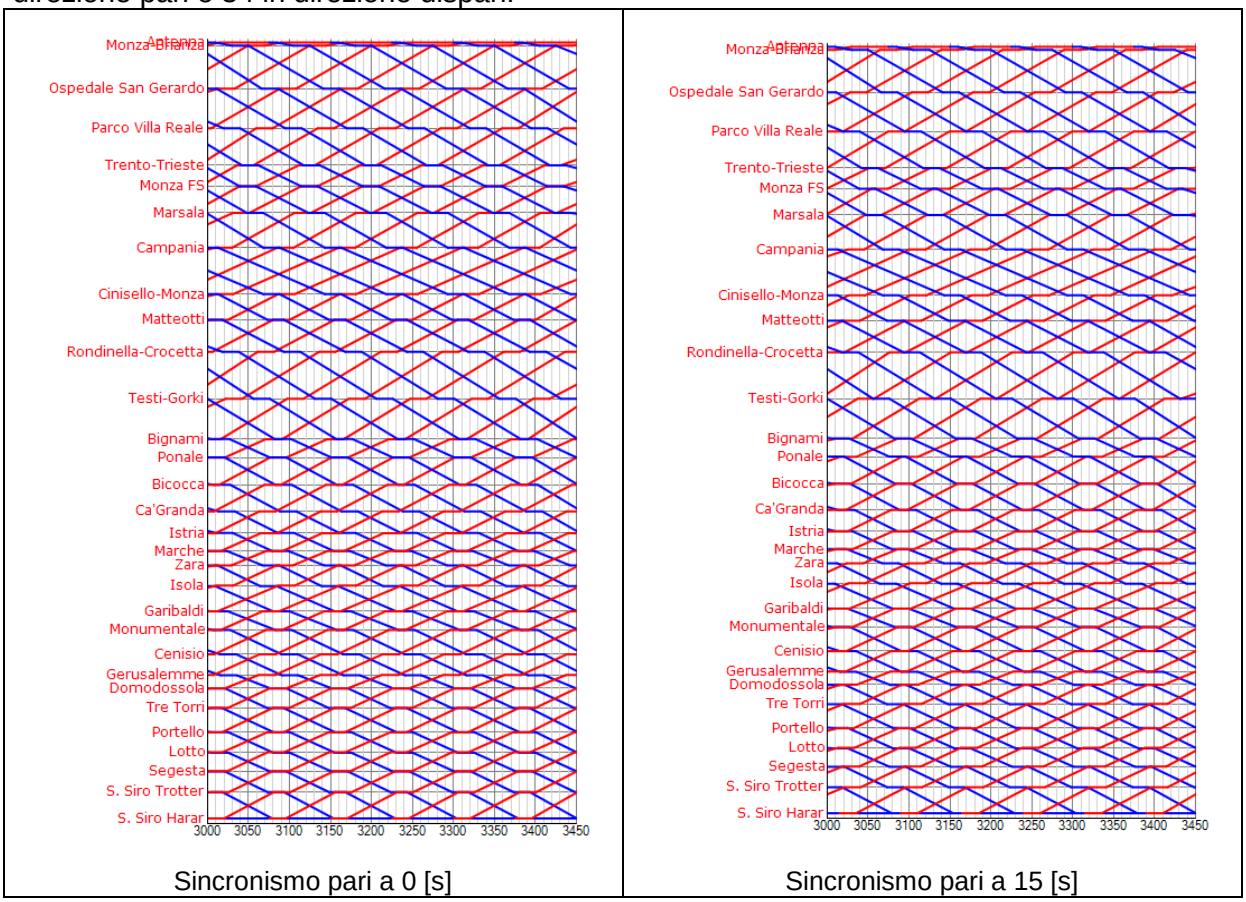
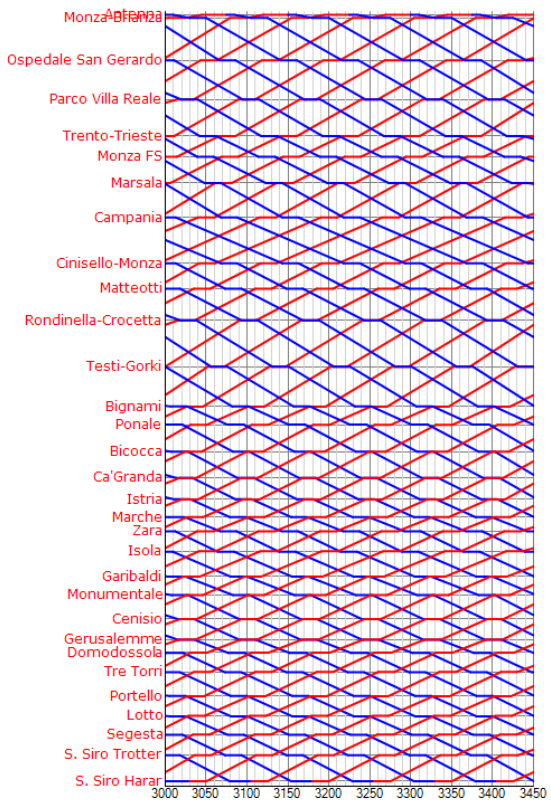
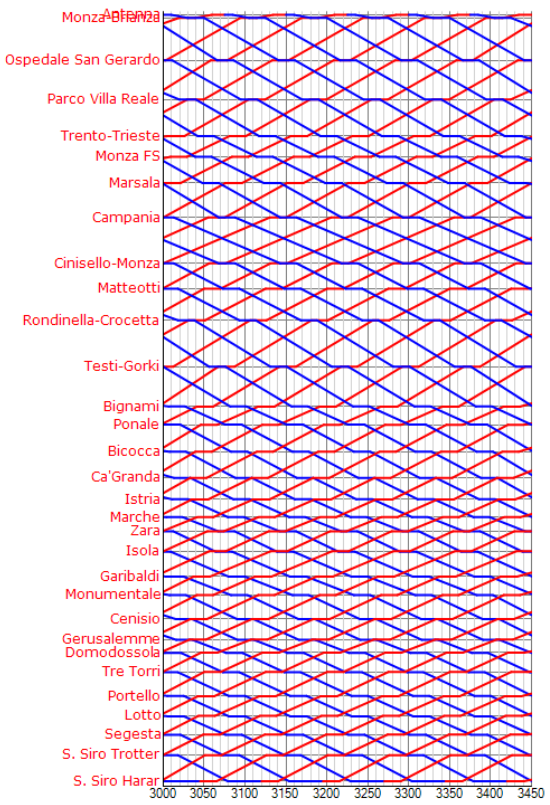


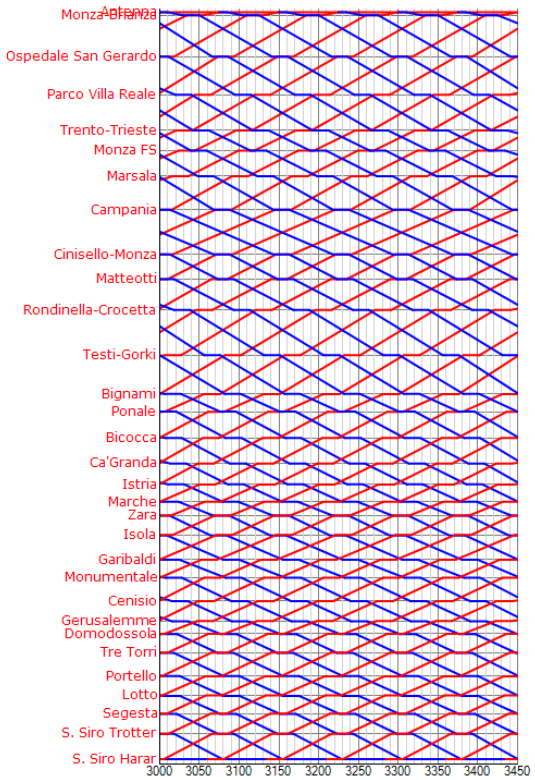
Figura 12: Scenario NF-75, sincronismo uguale a 0 [s] 15 [s], Orari simulati



Sincronismo pari a 30 [s]



Sincronismo pari a 45 [s]



Sincronismo pari a 60 [s]

Figura 13: Scenario NF-75, sincronismo uguale a 30 [s], 45 [s] e 60 [s], Orari simulati

6.1.2. RISULTATI TRENI

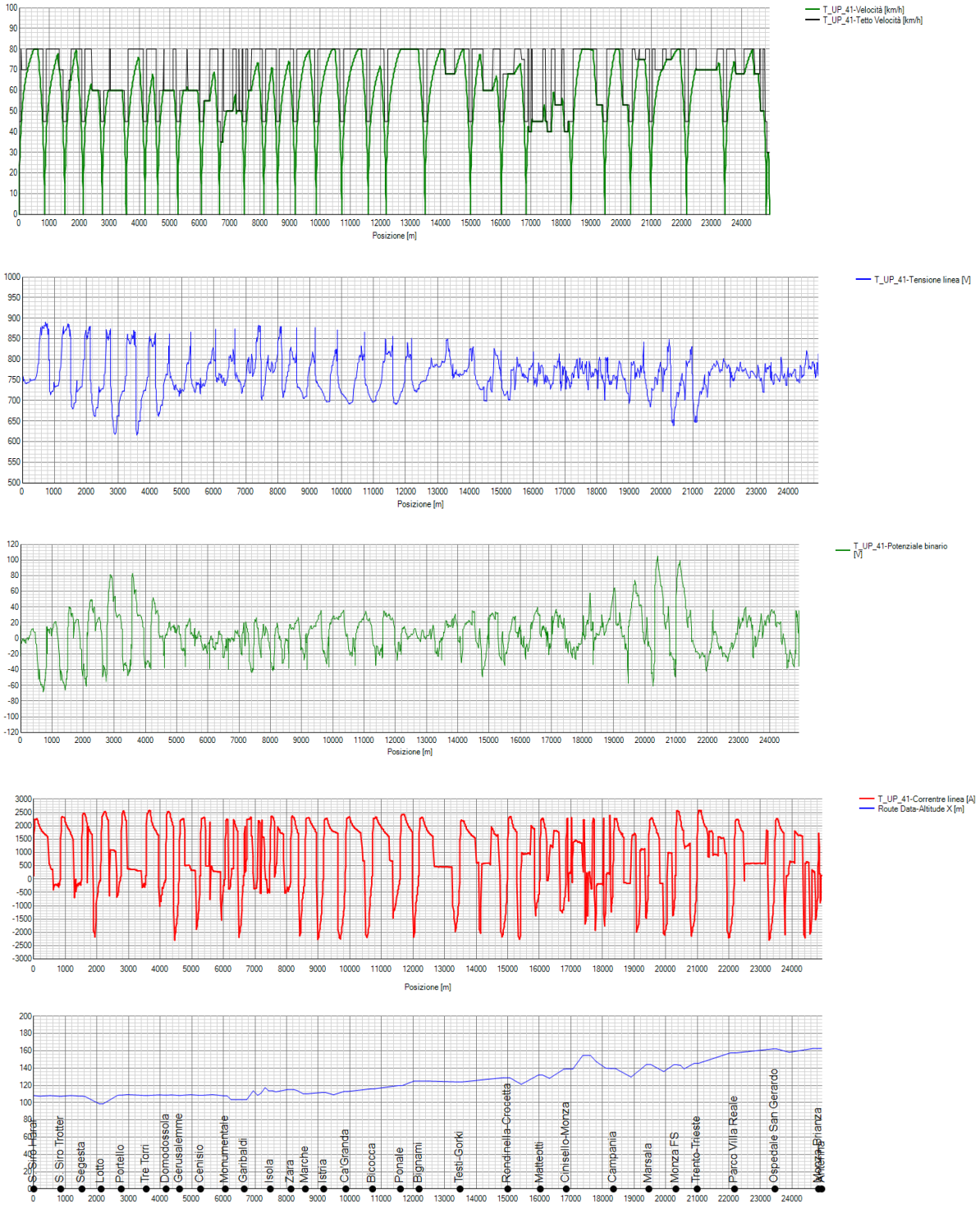


Figura 14: Scenario NF-75, sincronismo 0 [s], Treno Dispari, Profili di Velocità, Tensione e Corrente al pantografo

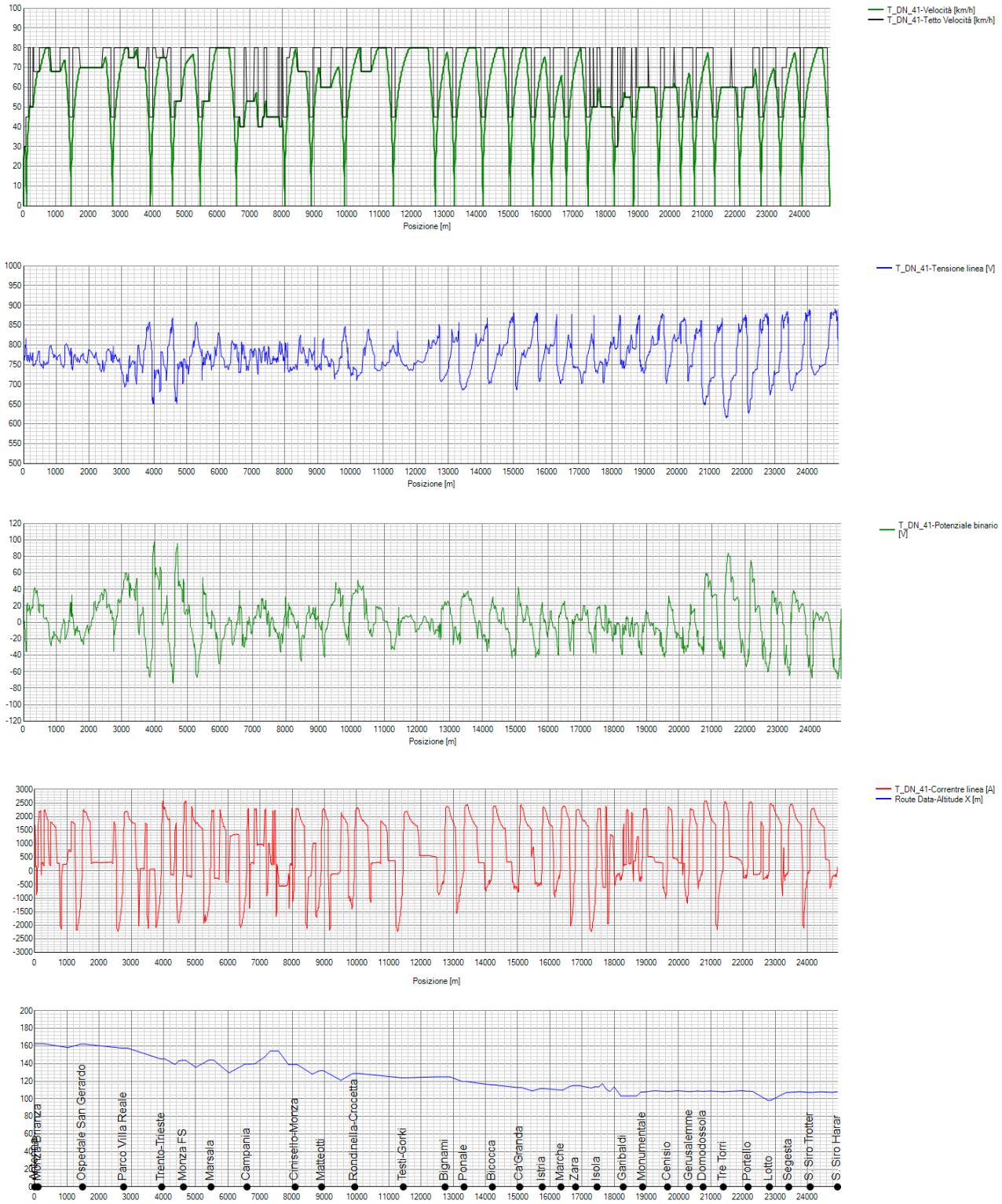


Figura 15: Scenario NF-75, sincronismo 0 [s], Treno Pari, Profili di Velocità, Tensione e Corrente al pantografo

Le figure precedenti riportano, per un treno pari e un treno dispari, il profilo di velocità, della tensione al pantografo, del potenziale binario-terra e della corrente al pantografo in funzione della posizione; le figure fanno riferimento alle condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione, con un sincronismo dei treni pario a 0 [s].

La Tabella 20 e la Tabella 21 riportano i dati dettagliati per ciascuna porzione del percorso di un treno pari e di un treno dispari, con un sincronismo di 0 [s]. I risultati fanno riferimento all'intera linea da San Siro H. a Monza/Brianza.

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
S. Siro Harar	S. Siro Harar	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Harar	S. Siro Trotter	61	50,3	80,0	770	-55
S. Siro Trotter	S. Siro Trotter	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Trotter	Segesta	53	45,6	77,7	808	-67
Segesta	Segesta	20	0,0	0,0	105	0
Segesta	Lotto	49	44,6	79,4	722	-202
Lotto	Lotto	20	0,0	0,0	105	0
Lotto	Portello	54	42,4	63,1	792	-58
Portello	Portello	20	0,0	0,0	105	0
Portello	Tre Torri	63	45,3	60,0	520	-35
Tre Torri	Tre Torri	20	0,0	0,0	105	0
Tre Torri	Domodossola	51	44,3	75,9	805	-100
Domodossola	Domodossola	20	0,0	0,0	105	0
Domodossola	Gerusalemme	41	37,3	67,8	757	-345
Gerusalemme	Gerusalemme	20	0,0	0,0	105	0
Gerusalemme	Cenisio	56	42,7	60,0	563	-188
Cenisio	Cenisio	20	0,0	0,0	105	0
Cenisio	Monumentale	63	44,8	61,7	536	-90
Monumentale	Monumentale	20	0,0	0,0	105	0
Monumentale	Garibaldi	51	42,3	68,8	600	-258
Garibaldi	Garibaldi	20	0,0	0,0	105	0
Garibaldi	Isola	74	40,1	57,9	693	-91
Isola	Isola	20	0,0	0,0	105	0
Isola	Zara	53	44,4	73,2	745	-90
Zara	Zara	20	0,0	0,0	105	0
Zara	Marche	42	39,1	70,9	730	-246
Marche	Marche	20	0,0	0,0	105	0
Marche	Istria	49	42,7	74,0	798	-319
Istria	Istria	20	0,0	0,0	105	0
Istria	Ca'Granda	53	47,5	79,4	811	-354
Ca'Granda	Ca'Granda	20	0,0	0,0	105	0
Ca'Granda	Bicocca	61	50,1	80,0	823	-256
Bicocca	Bicocca	20	0,0	0,0	105	0
Bicocca	Ponale	62	51,2	80,0	834	-141
Ponale	Ponale	20	0,0	0,0	105	0
Ponale	Bignami	50	42,6	71,7	849	-222
Bignami	Bignami	20	0,0	0,0	105	0
Bignami	Testi-Gorki	81	57,6	80,0	668	-211

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Testi-Gorki	Testi-Gorki	20	0,0	0,0	105	0
Testi-Gorki	Rondinella-Crocetta	94	57,9	80,0	771	-260
Rondinella-Crocetta	Rondinella-Crocetta	20	0,0	0,0	105	0
Rondinella-Crocetta	Matteotti	74	50,1	77,2	760	-225
Matteotti	Matteotti	20	0,0	0,0	105	0
Matteotti	Cinisello-Monza	61	48,5	72,9	773	-179
Cinisello-Monza	Cinisello-Monza	20	0,0	0,0	105	0
Cinisello-Monza	Campania	129	41,7	59,0	498	-175
Campania	Campania	20	0,0	0,0	105	0
Campania	Marsala	76	53,0	80,0	700	-238
Marsala	Marsala	20	0,0	0,0	105	0
Marsala	Monza FS	63	48,9	80,0	678	-300
Monza FS	Monza FS	20	0,0	0,0	105	0
Monza FS	Trento-Trieste	52	46,7	75,0	760	-324
Trento-Trieste	Trento-Trieste	20	0,0	0,0	105	0
Trento-Trieste	Parco Villa Reale	78	54,7	80,0	865	-249
Parco Villa Reale	Parco Villa Reale	20	0,0	0,0	105	0
Parco Villa Reale	Ospedale San Gerardo	84	54,7	73,2	654	-199
Ospedale San Gerardo	Ospedale San Gerardo	20	0,0	0,0	105	0
Ospedale San Gerardo	Monza-Brianza	91	54,6	79,7	658	-242
Monza-Brianza	Monza-Brianza	20	0,0	0,0	105	0
Monza-Brianza	Asta di manovra	20	18,1	30,0	352	-111
Asta di manovra	Asta di manovra	61	0,0	0,0	105	0

Tabella 19: Scenario NF-75, Sincronismo di 0 [s], Treno Dispari, Tempi di percorrenza e dati inter-tratta

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Asta di manovra	Asta di manovra	10	0,0	0,0	105	0
Asta di manovra	Monza-Brianza	20	18,1	30,0	346	-111
Monza-Brianza	Monza-Brianza	20	0,0	0,0	105	0
Monza-Brianza	Ospedale San Gerardo	91	54,6	80,0	640	-244
Ospedale San Gerardo	Ospedale San Gerardo	20	0,0	0,0	105	0
Ospedale San Gerardo	Parco Villa Reale	84	54,7	75,2	545	-210
Parco Villa Reale	Parco Villa Reale	20	0,0	0,0	105	0
Parco Villa Reale	Trento-Trieste	77	55,4	80,0	572	-299
Trento-Trieste	Trento-Trieste	20	0,0	0,0	105	0
Trento-Trieste	Monza FS	52	46,7	75,0	660	-322
Monza FS	Monza FS	20	0,0	0,0	105	0
Monza FS	Marsala	64	48,1	76,6	669	-287
Marsala	Marsala	20	0,0	0,0	105	0

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Marsala	Campania	75	53,7	80,0	615	-294
Campania	Campania	20	0,0	0,0	105	0
Campania	Cinisello-Monza	130	41,4	57,2	472	-171
Cinisello-Monza	Cinisello-Monza	20	0,0	0,0	105	0
Cinisello-Monza	Matteotti	60	49,4	79,2	641	-294
Matteotti	Matteotti	20	0,0	0,0	105	0
Matteotti	Rondinella-Crocetta	75	49,4	70,3	611	-239
Rondinella-Crocetta	Rondinella-Crocetta	20	0,0	0,0	105	0
Rondinella-Crocetta	Testi-Gorki	93	58,5	80,0	667	-240
Testi-Gorki	Testi-Gorki	20	0,0	0,0	105	0
Testi-Gorki	Bignami	81	57,6	80,0	698	-92
Bignami	Bignami	20	0,0	0,0	105	0
Bignami	Ponale	49	43,4	77,7	760	-176
Ponale	Ponale	20	0,0	0,0	105	0
Ponale	Bicocca	62	51,2	80,0	709	-100
Bicocca	Bicocca	20	0,0	0,0	105	0
Bicocca	Ca'Granda	60	50,9	80,0	737	-140
Ca'Granda	Ca'Granda	20	0,0	0,0	105	0
Ca'Granda	Istria	53	47,5	80,0	753	-127
Istria	Istria	20	0,0	0,0	105	0
Istria	Marche	48	43,5	75,3	783	-108
Marche	Marche	20	0,0	0,0	105	0
Marche	Zara	43	38,2	65,9	835	-253
Zara	Zara	20	0,0	0,0	105	0
Zara	Isola	52	46,1	79,7	786	-351
Isola	Isola	20	0,0	0,0	105	0
Isola	Garibaldi	71	41,3	60,0	508	-164
Garibaldi	Garibaldi	20	0,0	0,0	105	0
Garibaldi	Monumentale	58	37,3	57,1	527	-46
Monumentale	Monumentale	20	0,0	0,0	105	0
Monumentale	Cenisio	62	45,0	60,0	548	-119
Cenisio	Cenisio	20	0,0	0,0	105	0
Cenisio	Gerusalemme	56	43,7	61,8	574	-153
Gerusalemme	Gerusalemme	20	0,0	0,0	105	0
Gerusalemme	Domodossola	41	37,3	67,0	758	-71
Domodossola	Domodossola	20	0,0	0,0	105	0
Domodossola	Tre Torri	51	44,3	77,4	812	-189
Tre Torri	Tre Torri	20	0,0	0,0	105	0
Tre Torri	Portello	62	44,6	60,0	548	-32
Portello	Portello	20	0,0	0,0	105	0
Portello	Lotto	55	43,3	69,2	527	-74

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Lotto	Lotto	20	0,0	0,0	105	0
Lotto	Segesta	51	42,5	69,6	855	-58
Segesta	Segesta	20	0,0	0,0	105	0
Segesta	S. Siro Trotter	52	46,0	77,5	825	-145
S. Siro Trotter	S. Siro Trotter	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Trotter	S. Siro Harar	61	50,2	80,0	774	-57
S. Siro Harar	S. Siro Harar	71	0,0	0,0	105	0

Tabella 20: Scenario NF-75, Sincronismo di 0 [s], Treno Pari, Tempi di percorrenza e dati inter-tratta

6.1.3. TENSIONI AL PANTOGRAFO E POTENZIALI BINARIO

La Tabella 21 riporta i valori minimi della tensione al pantografo e i valori massimi del valore assoluto del potenziale di binario-terra, misurati in corrispondenza della posizione di tutti i treni presenti in linea nell'intervallo di osservazione. I risultati fanno riferimento alla sezione di linea da Bicocca a Monza/Brianza.

Scenario	Sincronismo [s]	Tensione Minima Pantografo		Massimo del valore assoluto del Potenziale Binario-Terra	
		Posizione [m]	Tensione [V]	Posizione [m]	Potenziale [V]
NF-75	0	24100	639	24100	105
NF-75	15	24000	655	24000	93
NF-75	30	24000	657	24000	79
NF-75	45	24100	668	24600	63
NF-75	60	24600	663	24600	88

Tabella 21: Scenari con cadenzamento a 75 [s], Tensione al pantografo e potenziale binario-terra

La tensione al pantografo è sempre maggiore del valore limite di 500 [V] :

- in caso di normale funzionamento il valore minimo in funzione del sincronismo dei treni è pari a 639 [V]

Il potenziale di binario, misurato in corrispondenza della posizione dei treni, è sempre inferiore al valore di 120 [V]:

- in caso di normale funzionamento il valore massimo in funzione del sincronismo dei treni è pari a 105 [V]

La Figura 16 riporta l'inviluppo dei valori della tensione al pantografo lungo linea e la Figura 17 l'inviluppo del potenziale binario-terra. Queste figure sono state costruite con i campioni di tensione e di potenziale misurati in corrispondenza della posizione dei treni presenti in linea: i campioni sono stati aggregati su tratte di linea della lunghezza di 100 [m]. Sono riportati i risultati in funzione del sincronismo dei treni.

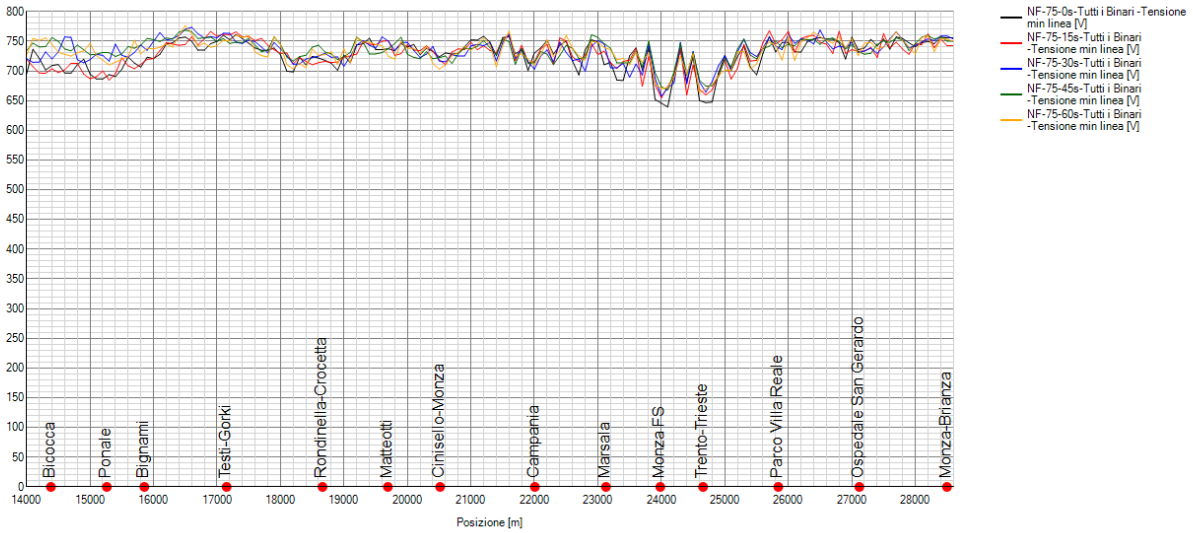


Figura 16: Scenari con cadenzamento a 75 [s], inviluppo dei valori minimi della tensione al pantografo lungo linea, misurata in corrispondenza della posizione dei treni

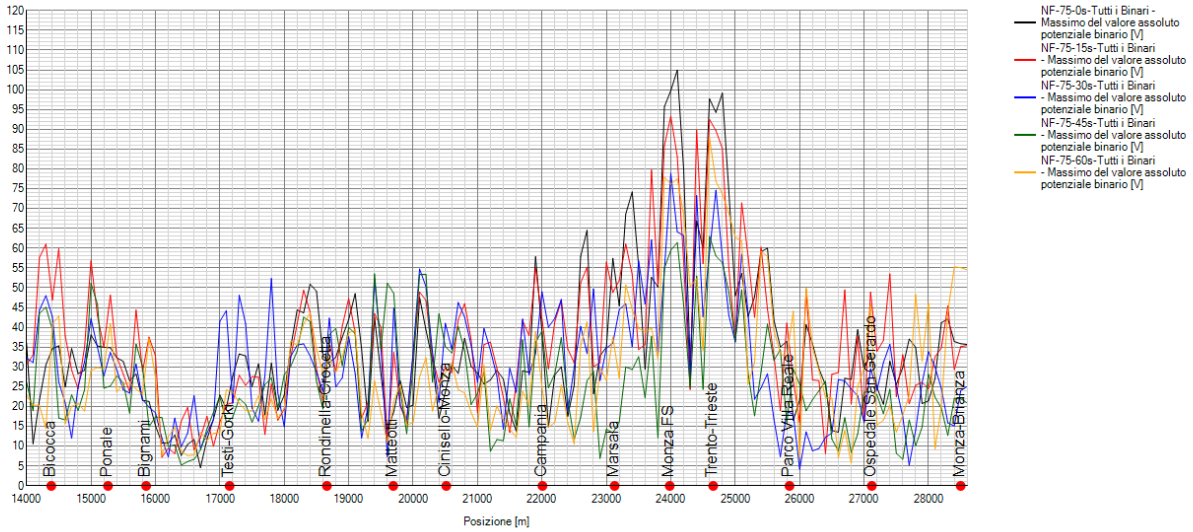


Figura 17: Scenari con cadenzamento a 75 [s], inviluppo dei valori massimi del potenziale binario-terra lungo linea, misurato in corrispondenza della posizione dei treni

In Tabella 22 sono riportati i valori massimi del valore assoluto del potenziale binario-terra di ciascuno scenario di simulazione, misurati in corrispondenza delle stazioni:

- il potenziale binario-terra è misurato al centro banchina delle stazioni pari e dispari;
- il valore massimo del potenziale è calcolato in una finestra temporale multipla del cadenzamento dei treni e pari a 150 [s];
- in tabella è riportato il valore massimo di tutte le simulazioni al variare del sincronismo dei treni.

Binario	Stazione	Valore massimo del valore assoluto del potenziale binario-terra [V]
Dispari	Bicocca	60
Dispari	Ponale	53
Dispari	Bignami	40

Binario	Stazione	Valore massimo del valore assoluto del potenziale binario-terra [V]
Dispari	Testi-Gorki	44
Dispari	Rondinella-Crocetta	45
Dispari	Matteotti	51
Dispari	Cinisello-Monza	46
Dispari	Campania	59
Dispari	Marsala	57
Dispari	Monza FS	101
Dispari	Trento-Trieste	100
Dispari	Parco Villa Reale	43
Dispari	Ospedale San Gerardo	48
Dispari	Monza-Brianza	55
Pari	Bicocca	60
Pari	Ponale	48
Pari	Bignami	39
Pari	Testi-Gorki	44
Pari	Rondinella-Crocetta	50
Pari	Matteotti	52
Pari	Cinisello-Monza	47
Pari	Campania	49
Pari	Marsala	59
Pari	Monza FS	96
Pari	Trento-Trieste	95
Pari	Parco Villa Reale	43
Pari	Ospedale San Gerardo	48
Pari	Monza-Brianza	55

Tabella 22: Scenari con cadenzamento a 75 [s], potenziale binario-terra in corrispondenza delle banchine di stazione

6.1.4. RISULTATI SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

Il presente paragrafo riassume i risultati della simulazione relativi alle sottostazioni elettriche della nuova sezione di linea, con l'inclusione delle SSE di Bicocca e Bignami. I valori di seguito riportati sono calcolati in un intervallo temporale multiplo del cadenzamento e pari a 150 [s].

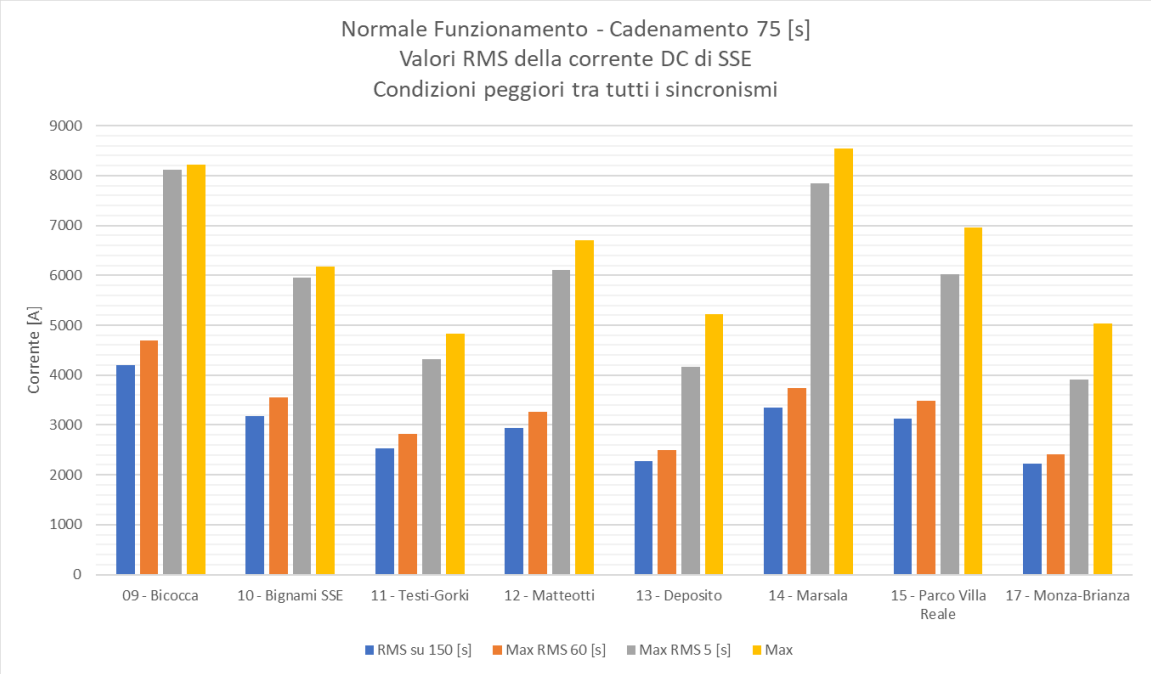


Figura 18: Scenario NF-75, valori RMS della corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi

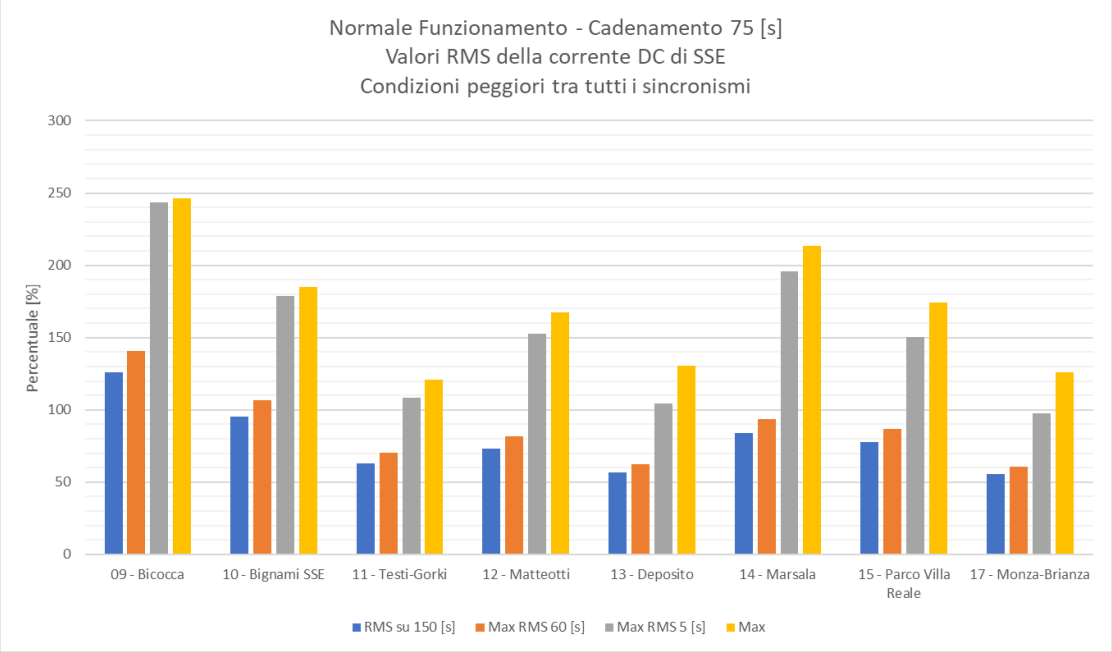


Figura 19: Scenario NF-75, corrente erogata dalle SSE in percentuale rispetto al valore nominale, caso peggiore tra tutti i sincronismi

La Figura 18 si riferisce alle condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione e riporta, per ciascun gruppo di conversione, il valore peggiore (massimo) dei valori RMS e massimi delle correnti alle sbarre in corrente continua delle SSE, tra tutte le simulazioni al variare del sincronismo dei treni. La Figura 19 si riferisce ai medesimi dati, ma riporta i valori in percentuale rispetto al valore nominale di corrente del gruppo di conversione.

SSE	Corrente nominale [A]	RMS su 150 [s]	Max RMS 60 [s]	Max RMS 5 [s]	Max di Abs
		Corrente assorbita DC [A]			
09 - Bicocca	3333	4203	4699	8120	8216
10 - Bignami SSE	3333	3182	3558	5956	6170
11 - Testi-Gorki	4000	2529	2822	4325	4827
12 - Matteotti	4000	2935	3266	6106	6696
13 - Deposito	4000	2267	2495	4170	5220
14 - Marsala	4000	3356	3744	7841	8538
15 - Parco Villa Reale	4000	3120	3476	6017	6966
17 - Monza-Brianza	4000	2218	2418	3902	5041

Tabella 23: Scenario NF-75, corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi

6.1.5. CORRENTI NEGLI INTERRUTTORI EXTRA-RAPIDI, NEI SEZIONATORI E NEGLI ALIMENTATORI

La Tabella 24 riporta i valori delle correnti negli interruttori extrarapidi, nei sezionatori di seconda fila e negli alimentatori di SSE:
Per la condizione di normale funzionamento del sistema di alimentazione sono riportati i valori massimi delle correnti, tra tutte le simulazioni in funzione del sincronismo dei treni.

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max
09 - Bicocca		EX1 - Corrente [A]	986	1241	-2833	1815
		EX2 - Corrente [A]	1296	1622	-2315	3110
		EX3 - Corrente [A]	1462	1784	-2594	3314
		EX4 - Corrente [A]	1066	1295	-2773	1954
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	274	600	-2387	1074
		28 - Corrente [A]	270	586	-1048	2394
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	986	1241	-2833	1815
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1064	1452	-1498	3110
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	274	600	-1074	2387
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	270	586	-1048	2394
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	1234	1622	-1604	3314
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	1066	1295	-2773	1954
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	2133	2595	-4486	3252
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	2050	2462	-4553	3441
10 - Bignami SSE		EX1 - Corrente [A]	1452	1821	-2847	4270

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max
		EX2 - Corrente [A]	1598	1973	-3426	3600
		EX3 - Corrente [A]	929	1098	-1734	2267
		EX4 - Corrente [A]	586	694	-1268	1553
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	164	579	-2196	0
		28 - Corrente [A]	127	503	-2194	0
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	1452	1821	-2847	4270
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1471	1846	-2763	3600
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	164	579	0	2196
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	127	503	-2194	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	803	936	-1734	1883
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	586	694	-1268	1553
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1628	2001	-3790	1822
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1625	1816	-3456	2707
11 - Testi-Gorki		EX1 - Corrente [A]	729	894	-1958	1571
		EX2 - Corrente [A]	1057	1197	-1345	2333
		EX3 - Corrente [A]	1227	1365	-935	2579
		EX4 - Corrente [A]	961	1113	-2552	1898
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	270	586	-2251	1050
		28 - Corrente [A]	278	592	-1174	2226
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	729	894	-1958	1571
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1006	1122	-1478	2267
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	270	586	-1050	2251
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	278	592	-1174	2226
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	1226	1341	-980	2579
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	961	1113	-2552	1898
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1332	1469	-2746	2259
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1298	1619	-3233	1543
12 - Matteotti		EX1 - Corrente [A]	964	1152	-1506	2226
		EX2 - Corrente [A]	1210	1353	-1466	2512
		EX3 - Corrente [A]	1209	1508	-1597	3531
		EX4 - Corrente [A]	776	988	-2926	2194
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	275	589	-2265	1134

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max
		28 - Corrente [A]	282	604	-1158	2298
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	964	1152	-1506	2226
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1080	1261	-1466	2512
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	275	589	-1134	2265
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	282	604	-1158	2298
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	1024	1330	-1173	3531
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	776	988	-2926	2194
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1639	1931	-4194	1625
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1478	1752	-3576	2748
13 - Deposito		EX1 - Corrente [A]	711	941	-1776	1928
		EX2 - Corrente [A]	743	920	-2074	2246
		EX3 - Corrente [A]	823	1050	-1421	3037
		EX4 - Corrente [A]	736	1029	-1069	2758
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	175	592	-2330	1202
		28 - Corrente [A]	125	460	-1279	2291
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	711	941	-1776	1928
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	670	838	-2074	2031
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	175	592	-1202	2330
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	125	460	-1279	2291
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	699	873	-1421	2644
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	736	1029	-1069	2758
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1122	1363	-3254	1093
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	993	1186	-2674	757
14 - Marsala		EX1 - Corrente [A]	919	1067	-2730	1853
		EX2 - Corrente [A]	960	1212	-1089	2804
		EX3 - Corrente [A]	1483	2155	-1509	4730
		EX4 - Corrente [A]	1230	1581	-3313	3372
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	270	588	-2281	1036
		28 - Corrente [A]	279	597	-1127	2290
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	919	1067	-2730	1853
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	966	1208	-1213	2804
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	270	588	-1036	2281

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	279	597	-1127	2290
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	1307	2048	-1101	4730
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	1230	1581	-3313	3372
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1792	2297	-5616	1448
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1625	1964	-5066	2917
15 - Parco Villa Reale		EX1 - Corrente [A]	1278	1569	-1922	3024
		EX2 - Corrente [A]	1526	1754	-2123	3433
		EX3 - Corrente [A]	1102	1282	-1369	2775
		EX4 - Corrente [A]	916	1058	-1951	1948
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	277	600	-2295	1072
		28 - Corrente [A]	275	588	-1096	2226
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	1278	1569	-1922	3024
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1338	1643	-2067	3433
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	277	600	-1072	2295
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	275	588	-1096	2226
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	1025	1220	-1508	2306
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	916	1058	-1951	1948
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1350	1576	-3502	10
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1313	1546	-3464	63
17 - Monza-Brianza		EX1 - Corrente [A]	924	1007	-1518	1776
		EX2 - Corrente [A]	1208	1347	-1179	2729
		EX3 - Corrente [A]	356	501	-1109	1860
		EX4 - Corrente [A]	130	366	0	1738
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	212	433	-1742	1109
		28 - Corrente [A]	258	566	-884	2223
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	924	1007	-1518	1776
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	1127	1281	-992	2729
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	212	433	-1109	1742
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	258	566	-884	2223
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	167	206	-889	336
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	130	366	0	1738
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	965	1093	-2491	54
	5x1x500 mm^2 Cu	R2 - Corrente [A]	1000	1126	-2550	14

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max
	(N-1)					

Tabella 24: Scenari con cadenzamento a 75 [s], correnti massime tra tutti i sincronismi negli interruttori, sezionatori e alimentatori

6.1.6. CORRENTI NELLA LINEA DI CONTATTO

La Tabella 25 riporta il valore RMS della corrente nella linea di contatto misurata nei punti notevoli della linea, quali ad esempio i punti di connessione degli alimentatori.
La colonna "Posizione [m] / SSE" riporta la posizione in cui è effettuata la misura della corrente, che può essere seguita:

- dalle lettere "p" e "d" nel caso in cui a tale posizione sia collegato un alimentatore di SSE: la misura è effettuata prima ("p") e dopo ("d") il punto di connessione nel senso delle progressive di linea crescenti;
- dal nome della SSE nel caso in cui la misura sia effettuata in corrispondenza dell'isolatore di sezione di una SSE.

Scenario		NF-75
Binario	Posizione [m] / SSE	Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]
Dispari	14334 Bicocca TN1	0
Dispari	14383 p	214
Dispari	14383 d	214
Dispari	14384 p	232
Dispari	14384 d	568
Dispari	14434 Bicocca TN2	0
Dispari	14435 p	0
Dispari	14435 d	1622
Dispari	15264 p	577
Dispari	15264 d	577
Dispari	15855 p	1277
Dispari	15855 d	1277
Dispari	16004 p	1821
Dispari	16004 d	0
Dispari	16005 Bignami TN1	0
Dispari	16055 p	427
Dispari	16055 d	392
Dispari	16105 Bignami TN2	0
Dispari	16106 p	0
Dispari	16106 d	936
Dispari	17100 p	894
Dispari	17100 d	0

Scenario		NF-75
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**
Dispari	17101 Testi TN1	0
Dispari	17151 p	206
Dispari	17151 d	550
Dispari	17151 p	550
Dispari	17151 d	545
Dispari	17201 Testi TN2	0
Dispari	17202 p	0
Dispari	17202 d	1341
Dispari	18662 p	778
Dispari	18662 d	794
Dispari	19641 p	1152
Dispari	19641 d	0
Dispari	19642 Matteotti TN1	0
Dispari	19692 p	229
Dispari	19692 d	241
Dispari	19692 p	241
Dispari	19692 d	550
Dispari	19742 Matteotti TN2	0
Dispari	19743 p	0
Dispari	19743 d	1330
Dispari	20514 p	768
Dispari	20514 d	778
Dispari	21331 p	941
Dispari	21331 d	0
Dispari	21332 Deposito TN1	0
Dispari	21382 p	431
Dispari	21382 d	408
Dispari	21432 Deposito TN2	0
Dispari	21433 p	0
Dispari	21433 d	873
Dispari	22008 p	771
Dispari	22008 d	770
Dispari	23076 p	1061
Dispari	23076 d	137
Dispari	23077 Marsala TN1	0
Dispari	23127 p	201
Dispari	23127 d	216
Dispari	23127 p	216
Dispari	23127 d	550
Dispari	23177 Marsala TN2	0

Scenario		NF-75
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**
Dispari	23178 p	0
Dispari	23178 d	2048
Dispari	23983 p	1318
Dispari	23983 d	1316
Dispari	24658 p	681
Dispari	24658 d	696
Dispari	25791 p	1569
Dispari	25791 d	0
Dispari	25792 Reale TN1	0
Dispari	25842 p	212
Dispari	25842 d	225
Dispari	25842 p	225
Dispari	25842 d	558
Dispari	25892 Reale TN2	0
Dispari	25893 p	0
Dispari	25893 d	1220
Dispari	27069 Ospedale TN1	729
Dispari	27119 p	745
Dispari	27119 d	769
Dispari	27169 Ospedale TN2	856
Dispari	28448 p	1007
Dispari	28448 d	0
Dispari	28449 Monza TN1	0
Dispari	28499 p	223
Dispari	28499 d	372
Dispari	28499 p	372
Dispari	28499 d	364
Dispari	28549 Monza TN2	0
Dispari	28550 p	0
Dispari	28550 d	206
Dispari	28663 p	0
Pari	14334 Bicocca TN1	0
Pari	14384 p	576
Pari	14384 d	581
Pari	14384 p	581
Pari	14384 d	205
Pari	14434 Bicocca TN2	0
Pari	14435 p	0
Pari	14435 d	1295
Pari	15265 p	735

Scenario		NF-75
Binario	Posizione [m] / SSE	Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]
Pari	15265 d	704
Pari	15856 p	1773
Pari	15856 d	1778
Pari	16004 p	1846
Pari	16004 d	0
Pari	16005 Bignami TN1	0
Pari	16055 p	430
Pari	16055 d	261
Pari	16105 Bignami TN2	0
Pari	16106 p	0
Pari	16106 d	694
Pari	17100 p	1122
Pari	17100 d	0
Pari	17101 Testi TN1	0
Pari	17151 p	539
Pari	17151 d	252
Pari	17151 p	252
Pari	17151 d	241
Pari	17201 Testi TN2	0
Pari	17202 p	0
Pari	17202 d	1113
Pari	18662 p	825
Pari	18662 d	822
Pari	19641 p	1261
Pari	19641 d	0
Pari	19642 Matteotti TN1	0
Pari	19692 p	557
Pari	19692 d	562
Pari	19692 p	562
Pari	19692 d	234
Pari	19742 Matteotti TN2	0
Pari	19743 p	0
Pari	19743 d	988
Pari	20514 p	818
Pari	20514 d	798
Pari	21331 p	838
Pari	21331 d	0
Pari	21332 Deposito TN1	0
Pari	21382 p	226
Pari	21382 d	401

Scenario		NF-75
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**
Pari	21432 Deposito TN2	0
Pari	21433 p	0
Pari	21433 d	1029
Pari	22008 p	674
Pari	22008 d	648
Pari	23076 p	1208
Pari	23076 d	0
Pari	23077 Marsala TN1	0
Pari	23127 p	552
Pari	23127 d	557
Pari	23127 p	557
Pari	23127 d	225
Pari	23177 Marsala TN2	0
Pari	23178 p	0
Pari	23178 d	1581
Pari	23983 p	909
Pari	23983 d	889
Pari	24658 p	888
Pari	24658 d	880
Pari	25791 p	1643
Pari	25791 d	0
Pari	25792 Reale TN1	0
Pari	25842 p	541
Pari	25842 d	547
Pari	25842 p	547
Pari	25842 d	220
Pari	25892 Reale TN2	0
Pari	25893 p	0
Pari	25893 d	1058
Pari	27069 Ospedale TN1	844
Pari	27119 p	803
Pari	27119 d	796
Pari	27169 Ospedale TN2	791
Pari	28448 p	1281
Pari	28448 d	0
Pari	28449 Monza TN1	0
Pari	28499 p	536
Pari	28499 d	181
Pari	28499 p	181
Pari	28499 d	165

Scenario		NF-75
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**
Pari	28549 MonzaTN2	0
Pari	28550 p	0
Pari	28550 d	366
Pari	28663 p	0

Tabella 25: Scenari con cadenzamento a 75 [s], correnti nella linea di contatto

6.1.7. CAVI DI RINFORZO

Il valore massimo RMS della corrente che circola nei cavi di rinforzo in parallelo ai binari calcolato sul cadenzamento e in funzione del sincronismo dei treni (valore riferito a due cavi in parallelo con una sezione equivalente pari a 2x1x400 Cu) è pari a 353 [A].

6.2. SIMULAZIONI IN CONDIZIONI DI DEGRADO, CON CADENZAMENTO DI 120 SECONDI

La Tabella 26 elenca i casi di simulazioni al variare della configurazione del sistema di alimentazione. Per ciascun caso di simulazione sono state eseguite otto simulazioni al variare del sincronismo dei treni in partenza in direzione opposta.

Codice Scenario	**Cadenzamento [s]**	**Configurazione Rete Elettrica**
BIGNAMI-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Bignami
TESTI-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Testi-Gorki
MATTEOTTI-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Matteotti
DEPOSITO-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Deposito
MARSALA-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Marsala
REALE-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Parco Villa Reale
MONZA-OUT-120	120	Fuori servizio totale della SSE di Monza-Brianza

Tabella 26: Cadenamento di 120 [s], elenco scenari di simulazione in condizioni di degrado

6.2.1. ORARIO SIMULATO

Nelle seguenti figure è mostrato l'orario simulato in funzione del sincronismo dei treni. Sull'asse delle ascisse è riportato il tempo in secondi mentre sull'asse delle ordinate sinistro è riportata la posizione delle stazioni.

Con il cadenzamento di 120 [s] sono mediamente presenti in linea 42 treni, 21 in direzione pari e 21 in direzione dispari.

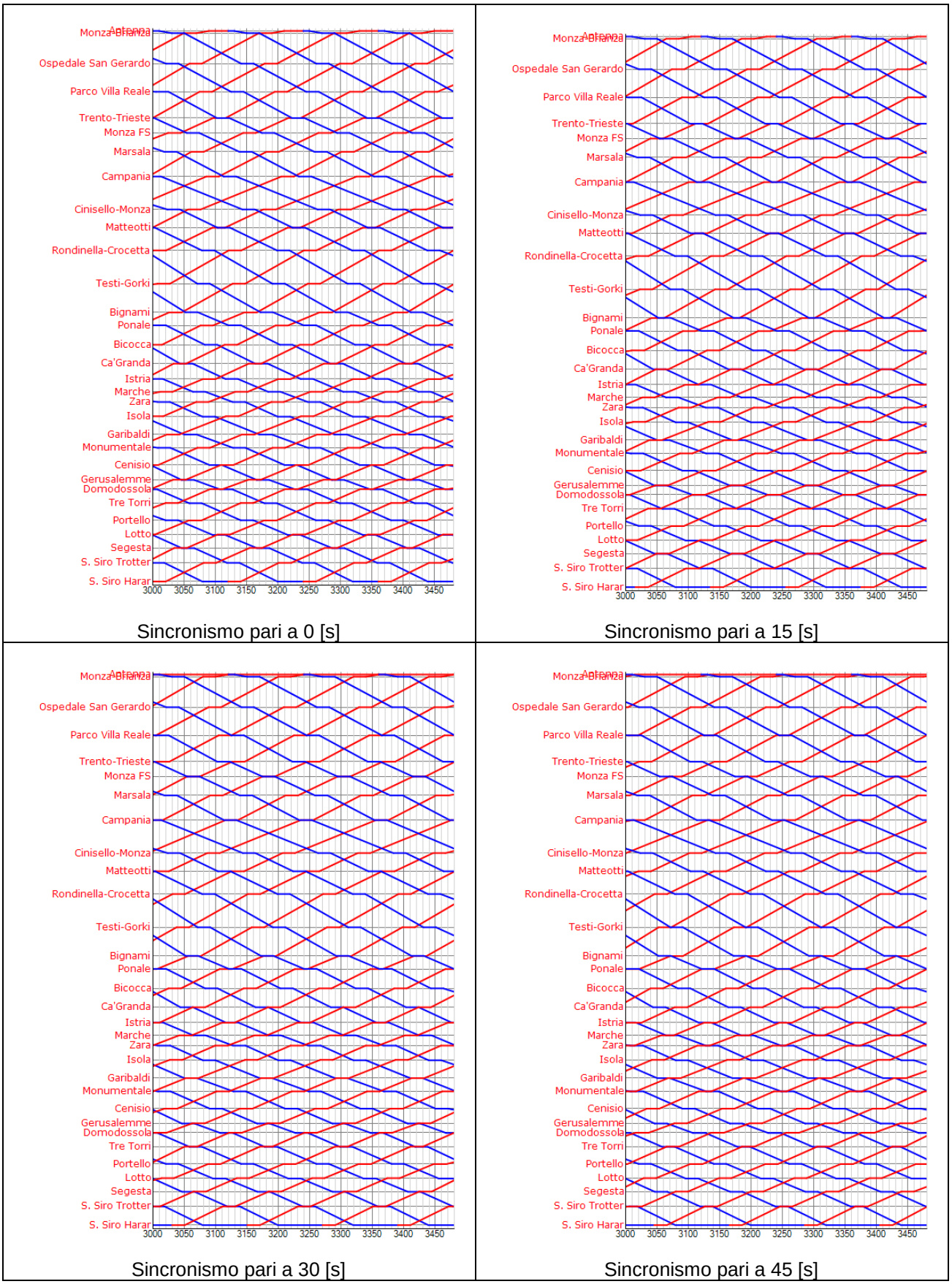


Figura 20: Scenario con cadenzamento di 120 [s], sincronismo uguale a 0, 15, 30 e 45 secondi, Orari simulati

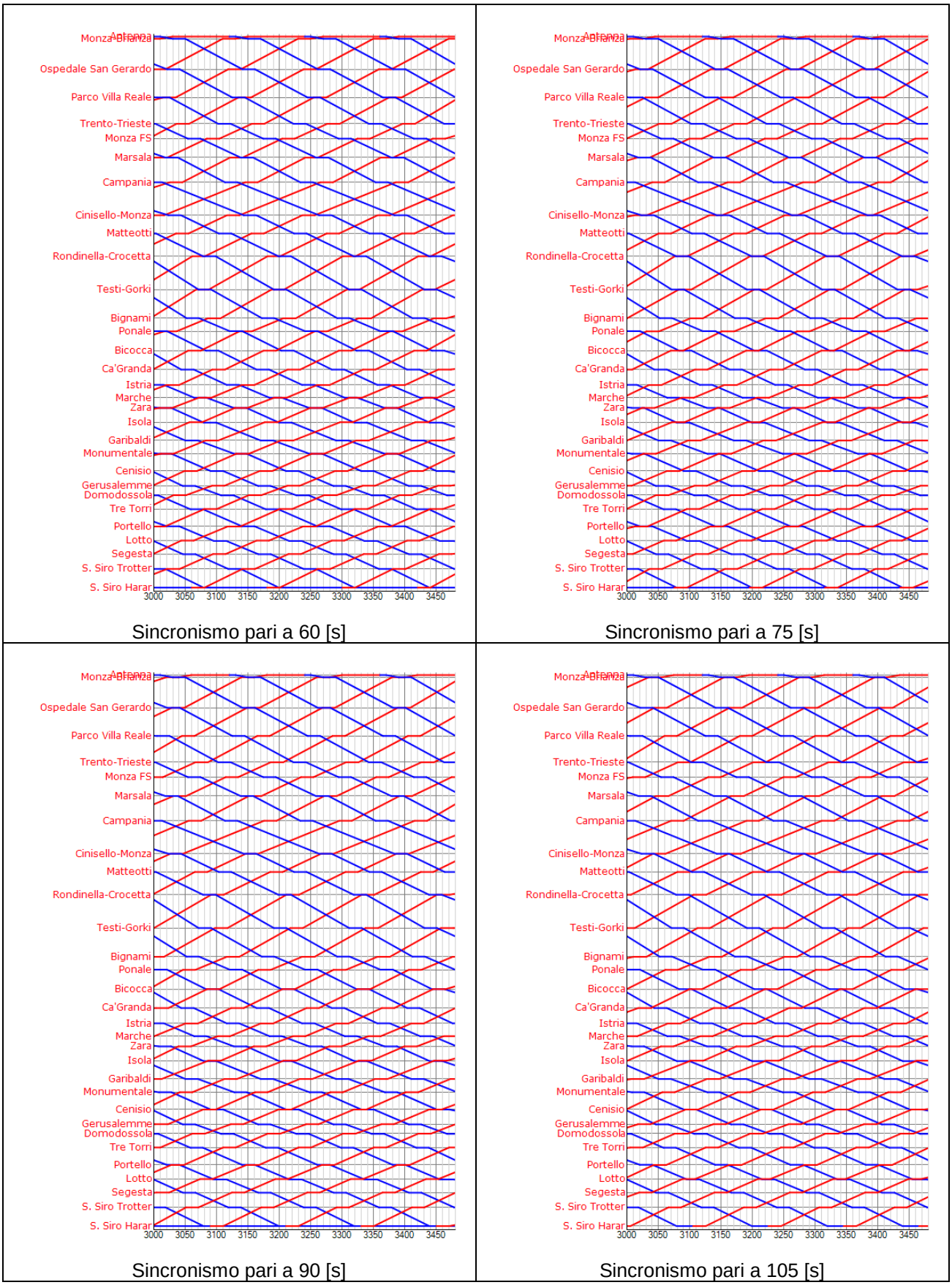


Figura 21: Scenario con cadenzamento di 120 [s], sincronismo pari a 60, 75, 90 e 105 secondi, Orari simulati

6.2.2. RISULTATI TRENI

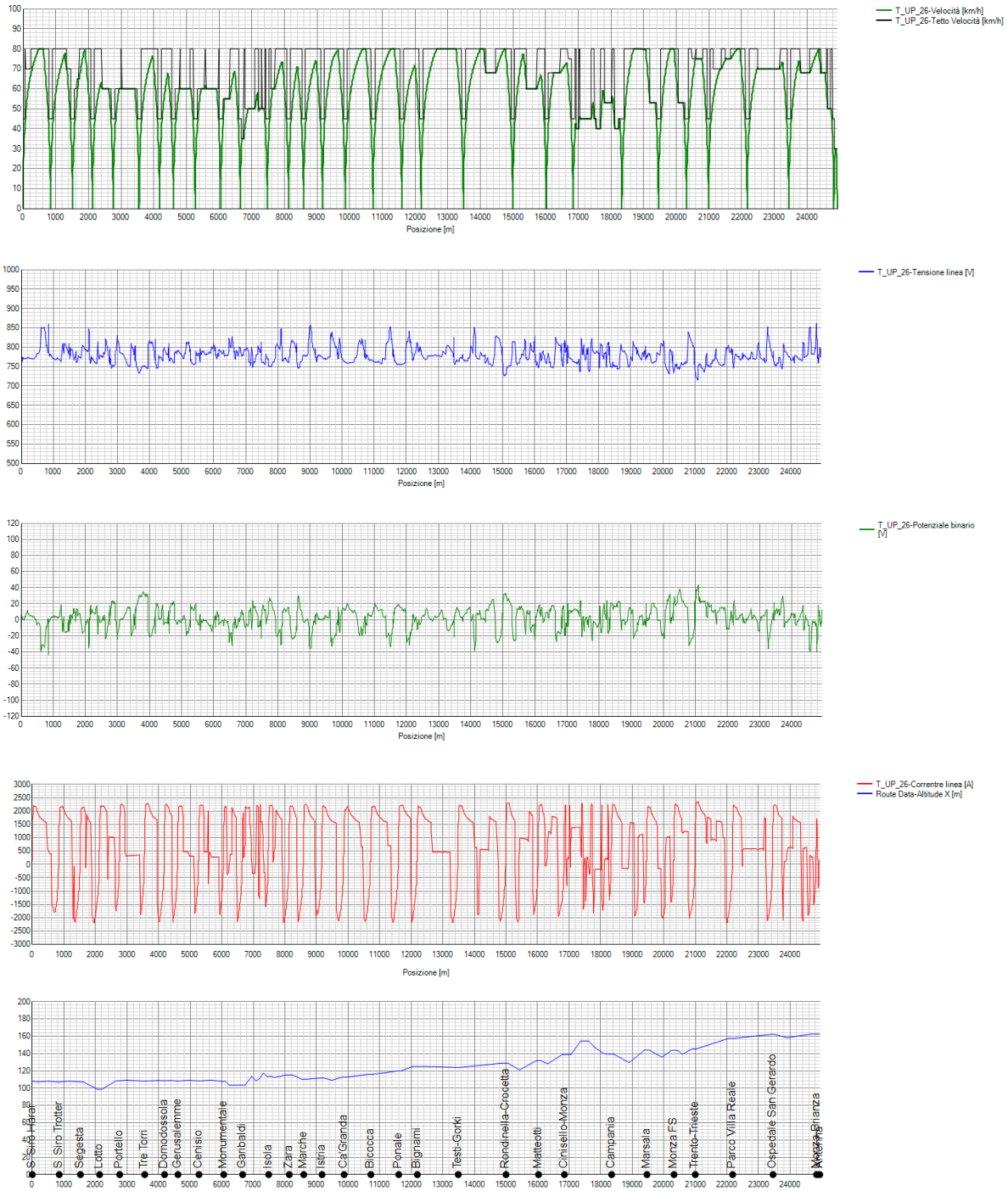


Figura 22: Scenario NF-120, sincronismo 0 [s], Treno Dispari, Profili di Velocità, Tensione e Corrente al pantografo

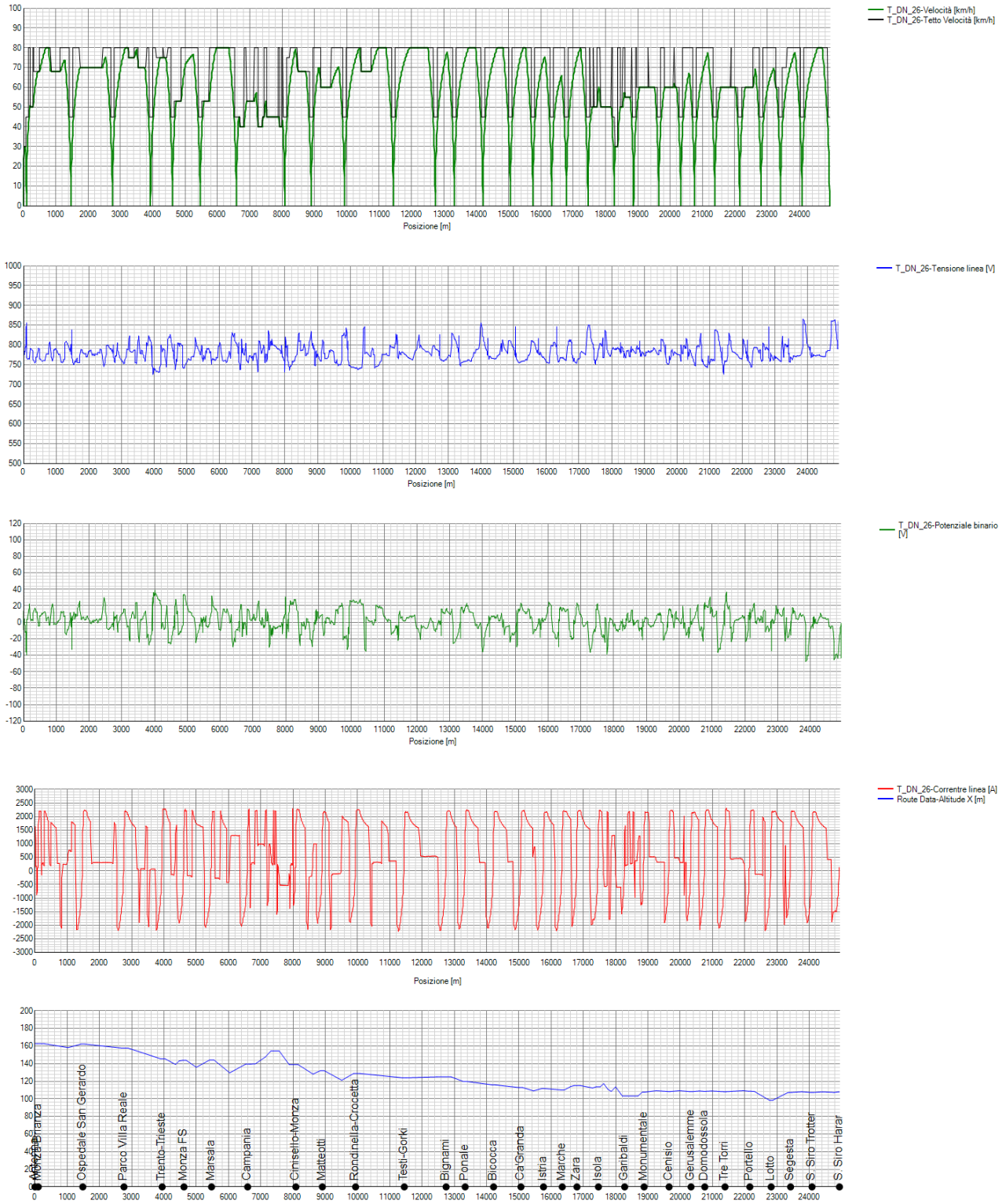


Figura 23: Scenario NF-120, sincronismo 0 [s], Treno Pari, Profili di Velocità, Tensione e Corrente al pantografo

Le figure precedenti riportano, per un treno pari e un treno dispari, il profilo di velocità, della tensione al pantografo, del potenziale binario-terra e della corrente al pantografo in funzione della posizione; le figure fanno riferimento alle condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione, con un sincronismo dei treni pario a 0 [s].

La Tabella 27 e la Tabella 28 riportano i dati dettagliati per ciascuna porzione del percorso di un treno pari e di un treno dispari, con un sincronismo di 0 [s].

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
S. Siro Harar	S. Siro Harar	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Harar	S. Siro Trotter	61	50,3	80,0	770	-305
S. Siro Trotter	S. Siro Trotter	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Trotter	Segesta	53	45,6	77,7	808	-358
Segesta	Segesta	20	0,0	0,0	105	0
Segesta	Lotto	49	44,6	79,4	722	-404
Lotto	Lotto	20	0,0	0,0	105	0
Lotto	Portello	54	42,4	63,1	792	-204
Portello	Portello	20	0,0	0,0	105	0
Portello	Tre Torri	63	45,3	60,0	520	-178
Tre Torri	Tre Torri	20	0,0	0,0	105	0
Tre Torri	Domodossola	51	44,3	76,4	814	-359
Domodossola	Domodossola	20	0,0	0,0	105	0
Domodossola	Gerusalemme	41	37,3	67,8	757	-354
Gerusalemme	Gerusalemme	20	0,0	0,0	105	0
Gerusalemme	Cenisio	56	42,7	60,0	563	-199
Cenisio	Cenisio	20	0,0	0,0	105	0
Cenisio	Monumentale	63	44,8	61,7	536	-185
Monumentale	Monumentale	20	0,0	0,0	105	0
Monumentale	Garibaldi	51	42,3	68,8	600	-318
Garibaldi	Garibaldi	20	0,0	0,0	105	0
Garibaldi	Isola	74	40,1	57,9	693	-170
Isola	Isola	20	0,0	0,0	105	0
Isola	Zara	53	44,4	73,2	745	-320
Zara	Zara	20	0,0	0,0	105	0
Zara	Marche	42	39,1	70,9	730	-385
Marche	Marche	20	0,0	0,0	105	0
Marche	Istria	49	42,7	74,0	798	-334
Istria	Istria	20	0,0	0,0	105	0
Istria	Ca'Granda	53	47,5	79,4	811	-367
Ca'Granda	Ca'Granda	20	0,0	0,0	105	0
Ca'Granda	Bicocca	61	50,1	80,0	823	-318
Bicocca	Bicocca	20	0,0	0,0	105	0
Bicocca	Ponale	62	51,2	80,0	834	-316
Ponale	Ponale	20	0,0	0,0	105	0
Ponale	Bignami	50	42,6	71,7	849	-318
Bignami	Bignami	20	0,0	0,0	105	0
Bignami	Testi-Gorki	81	57,6	80,0	668	-244

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Testi-Gorki	Testi-Gorki	20	0,0	0,0	105	0
Testi-Gorki	Rondinella-Crocetta	94	57,9	80,0	771	-259
Rondinella-Crocetta	Rondinella-Crocetta	20	0,0	0,0	105	0
Rondinella-Crocetta	Matteotti	74	50,1	77,2	760	-293
Matteotti	Matteotti	20	0,0	0,0	105	0
Matteotti	Cinisello-Monza	61	48,5	72,9	773	-254
Cinisello-Monza	Cinisello-Monza	20	0,0	0,0	105	0
Cinisello-Monza	Campania	129	41,7	59,0	498	-181
Campania	Campania	20	0,0	0,0	105	0
Campania	Marsala	76	53,0	80,0	700	-240
Marsala	Marsala	20	0,0	0,0	105	0
Marsala	Monza FS	63	48,9	80,0	678	-300
Monza FS	Monza FS	20	0,0	0,0	105	0
Monza FS	Trento-Trieste	52	46,7	75,0	761	-325
Trento-Trieste	Trento-Trieste	20	0,0	0,0	105	0
Trento-Trieste	Parco Villa Reale	78	54,7	80,0	865	-249
Parco Villa Reale	Parco Villa Reale	20	0,0	0,0	105	0
Parco Villa Reale	Ospedale San Gerardo	84	54,7	73,2	654	-198
Ospedale San Gerardo	Ospedale San Gerardo	20	0,0	0,0	105	0
Ospedale San Gerardo	Monza-Brianza	91	54,6	79,7	658	-241
Monza-Brianza	Monza-Brianza	20	0,0	0,0	105	0
Monza-Brianza	Antenna	20	18,1	30,0	352	-111
Antenna	Antenna	31	0,0	0,0	105	0

Tabella 27: Scenario NF-120, Sincronismo di 0 [s], Treno Dispari, Tempi di percorrenza e dati inter-tratta

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Antenna	Antenna	10	0,0	0,0	105	0
Antenna	Monza-Brianza	20	18,1	30,0	346	-111
Monza-Brianza	Monza-Brianza	20	0,0	0,0	105	0
Monza-Brianza	Ospedale San Gerardo	91	54,6	80,0	640	-244
Ospedale San Gerardo	Ospedale San Gerardo	20	0,0	0,0	105	0
Ospedale San Gerardo	Parco Villa Reale	84	54,7	75,2	545	-210
Parco Villa Reale	Parco Villa Reale	20	0,0	0,0	105	0
Parco Villa Reale	Trento-Trieste	77	55,4	80,0	572	-300
Trento-Trieste	Trento-Trieste	20	0,0	0,0	105	0
Trento-Trieste	Monza FS	52	46,7	75,0	660	-323
Monza FS	Monza FS	20	0,0	0,0	105	0
Monza FS	Marsala	64	48,1	76,6	669	-291
Marsala	Marsala	20	0,0	0,0	105	0

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Marsala	Campania	75	53,7	80,0	615	-298
Campania	Campania	20	0,0	0,0	105	0
Campania	Cinisello-Monza	130	41,4	57,2	472	-185
Cinisello-Monza	Cinisello-Monza	20	0,0	0,0	105	0
Cinisello-Monza	Matteotti	60	49,4	79,2	641	-344
Matteotti	Matteotti	20	0,0	0,0	105	0
Matteotti	Rondinella-Crocetta	75	49,4	70,3	611	-281
Rondinella-Crocetta	Rondinella-Crocetta	20	0,0	0,0	105	0
Rondinella-Crocetta	Testi-Gorki	93	58,5	80,0	667	-266
Testi-Gorki	Testi-Gorki	20	0,0	0,0	105	0
Testi-Gorki	Bignami	81	57,6	80,0	698	-243
Bignami	Bignami	20	0,0	0,0	105	0
Bignami	Ponale	49	43,4	77,7	760	-381
Ponale	Ponale	20	0,0	0,0	105	0
Ponale	Bicocca	62	51,2	80,0	709	-317
Bicocca	Bicocca	20	0,0	0,0	105	0
Bicocca	Ca'Granda	60	50,9	80,0	737	-324
Ca'Granda	Ca'Granda	20	0,0	0,0	105	0
Ca'Granda	Istria	53	47,5	80,0	753	-364
Istria	Istria	20	0,0	0,0	105	0
Istria	Marche	48	43,5	75,3	783	-372
Marche	Marche	20	0,0	0,0	105	0
Marche	Zara	43	38,2	65,9	835	-313
Zara	Zara	20	0,0	0,0	105	0
Zara	Isola	52	46,1	79,7	786	-363
Isola	Isola	20	0,0	0,0	105	0
Isola	Garibaldi	71	41,3	60,0	508	-300
Garibaldi	Garibaldi	20	0,0	0,0	105	0
Garibaldi	Monumentale	58	37,3	57,1	527	-147
Monumentale	Monumentale	20	0,0	0,0	105	0
Monumentale	Cenisio	62	45,0	60,0	548	-180
Cenisio	Cenisio	20	0,0	0,0	105	0
Cenisio	Gerusalemme	56	43,7	61,8	574	-212
Gerusalemme	Gerusalemme	20	0,0	0,0	105	0
Gerusalemme	Domodossola	41	37,3	67,0	758	-341
Domodossola	Domodossola	20	0,0	0,0	105	0
Domodossola	Tre Torri	51	44,3	77,4	813	-365
Tre Torri	Tre Torri	20	0,0	0,0	105	0
Tre Torri	Portello	62	44,6	60,0	549	-178
Portello	Portello	20	0,0	0,0	105	0
Portello	Lotto	55	43,3	69,2	530	-311

Da	A	Tempo percorrenza [s]	Velocità media [km/h]	Velocità massima [km/h]	Potenza media assorbita [kW]	Potenza media Rigenerata [kW]
Lotto	Lotto	20	0,0	0,0	105	0
Lotto	Segesta	51	42,5	69,6	855	-275
Segesta	Segesta	20	0,0	0,0	105	0
Segesta	S. Siro Trotter	52	46,0	77,5	825	-326
S. Siro Trotter	S. Siro Trotter	20	0,0	0,0	105	0
S. Siro Trotter	S. Siro Harar	61	50,2	80,0	774	-289
S. Siro Harar	S. Siro Harar	41	0,0	0,0	105	0

Tabella 28: Scenario NF-120, Sincronismo di 0 [s], Treno Pari, Tempi di percorrenza e dati inter-tratta

6.2.3. TENSIONI AL PANTOGRAFO E POTENZIALI BINARIO

La Tabella 29 riporta i valori minimi della tensione al pantografo e i valori massimi del valore assoluto del potenziale di binario-terra, misurati in corrispondenza della posizione di tutti i treni presenti in linea nell'intervallo di osservazione. I risultati fanno riferimento alla sezione di linea da Bicocca a Monza/Brianza.

Scenario	Sincronismo [s]	Tensione Minima Pantografo		Massimo del valore assoluto del Potenziale Binario-Terra	
		Posizione [m]	Tensione [V]	Posizione [m]	Potenziale [V]
NF-120s	0	24800	715	24800	43
NF-120s	15	24700	704	24500	45
NF-120s	30	24700	700	24700	48
NF-120s	45	***24700***	***693***	24700	53
NF-120s	60	24700	703	***24700***	***59***
NF-120s	75	24700	700	27200	51
NF-120s	90	24800	713	28500	47
NF-120s	105	24800	714	28500	48
BIGNAMI-OUT-120s	0	24800	715	24800	43
BIGNAMI-OUT-120s	15	24700	704	15600	47
BIGNAMI-OUT-120s	30	24700	700	24700	48
BIGNAMI-OUT-120s	45	***24700***	***693***	24700	53
BIGNAMI-OUT-120s	60	24700	703	***24700***	***59***
BIGNAMI-OUT-120s	75	24700	700	27200	53
BIGNAMI-OUT-120s	90	24800	713	28500	49
BIGNAMI-OUT-120s	105	24800	714	28500	49
TESTI-OUT-120s	0	17200	694	18800	46
TESTI-OUT-120s	15	18800	681	18600	52
TESTI-OUT-120s	30	18600	699	18600	61
TESTI-OUT-120s	45	17200	686	18600	58
TESTI-OUT-120s	60	17200	686	24700	59
TESTI-OUT-120s	75	***17200***	***667***	***18600***	***62***
TESTI-OUT-120s	90	17200	677	18700	60

Scenario	Sincronismo [s]	Tensione Minima Pantografo		Massimo del valore assoluto del Potenziale Binario-Terra	
		Posizione [m]	Tensione [V]	Posizione [m]	Potenziale [V]
TESTI-OUT-120s	105	18800	689	28500	52
MATTEOTTI-OUT-120s	0	19700	640	19800	72
MATTEOTTI-OUT-120s	15	***18800***	***639***	***18800***	***76***
MATTEOTTI-OUT-120s	30	19700	669	18600	65
MATTEOTTI-OUT-120s	45	19700	644	19800	69
MATTEOTTI-OUT-120s	60	19700	676	20400	56
MATTEOTTI-OUT-120s	75	18800	655	18700	70
MATTEOTTI-OUT-120s	90	18800	656	18800	74
MATTEOTTI-OUT-120s	105	18800	648	19400	72
DEPOSITO-OUT-120s	0	21400	658	21400	55
DEPOSITO-OUT-120s	15	21400	642	21100	65
DEPOSITO-OUT-120s	30	21400	633	21400	66
DEPOSITO-OUT-120s	45	21100	656	21100	67
DEPOSITO-OUT-120s	60	***21400***	***630***	21400	65
DEPOSITO-OUT-120s	75	21400	651	***21100***	***69***
DEPOSITO-OUT-120s	90	21400	653	21400	58
DEPOSITO-OUT-120s	105	21400	656	21200	58
MARSALA-OUT-120s	0	23900	669	22800	63
MARSALA-OUT-120s	15	23800	632	23800	77
MARSALA-OUT-120s	30	23800	641	23800	70
MARSALA-OUT-120s	45	***23800***	***619***	23800	86
MARSALA-OUT-120s	60	23800	626	***23800***	***90***
MARSALA-OUT-120s	75	23800	623	23800	85
MARSALA-OUT-120s	90	23900	662	22800	80
MARSALA-OUT-120s	105	23900	642	23900	77
REALE-OUT-120s	0	25900	634	26100	85
REALE-OUT-120s	15	24700	641	24700	72
REALE-OUT-120s	30	25800	626	24700	84
REALE-OUT-120s	45	***24700***	***618***	***24700***	***91***
REALE-OUT-120s	60	25900	637	24700	91
REALE-OUT-120s	75	25900	631	25500	79
REALE-OUT-120s	90	24800	654	24800	72
REALE-OUT-120s	105	24800	659	24800	64
MONZA-OUT-120s	0	28500	608	28200	81
MONZA-OUT-120s	15	28400	631	28600	68
MONZA-OUT-120s	30	28500	595	28400	83
MONZA-OUT-120s	45	28500	555	28500	114
MONZA-OUT-120s	60	28500	575	28400	100
MONZA-OUT-120s	75	***28500***	***553***	28500	101
MONZA-OUT-120s	90	28500	571	28400	105
MONZA-OUT-120s	105	28400	572	***28500***	***122***

Tabella 29: Scenari con cadenzamento a 120 [s], Tensione al pantografo e potenziale binario-terra

La Figura 24 riporta l'inviluppo dei valori della tensione al pantografo lungo linea e la Figura 25 l'inviluppo del potenziale binario-terra. Queste figure sono state costruite con i campioni di tensione e di potenziale misurati in corrispondenza della posizione dei treni presenti in linea: i campioni sono stati aggregati su tratte di linea della lunghezza di 100 [m]. Per ciascun caso di simulazione sono riportati i risultati relativi al caso peggiore in funzione del sincronismo tra quelli riportati in Tabella 29 (ovvero i valori in corsivo).

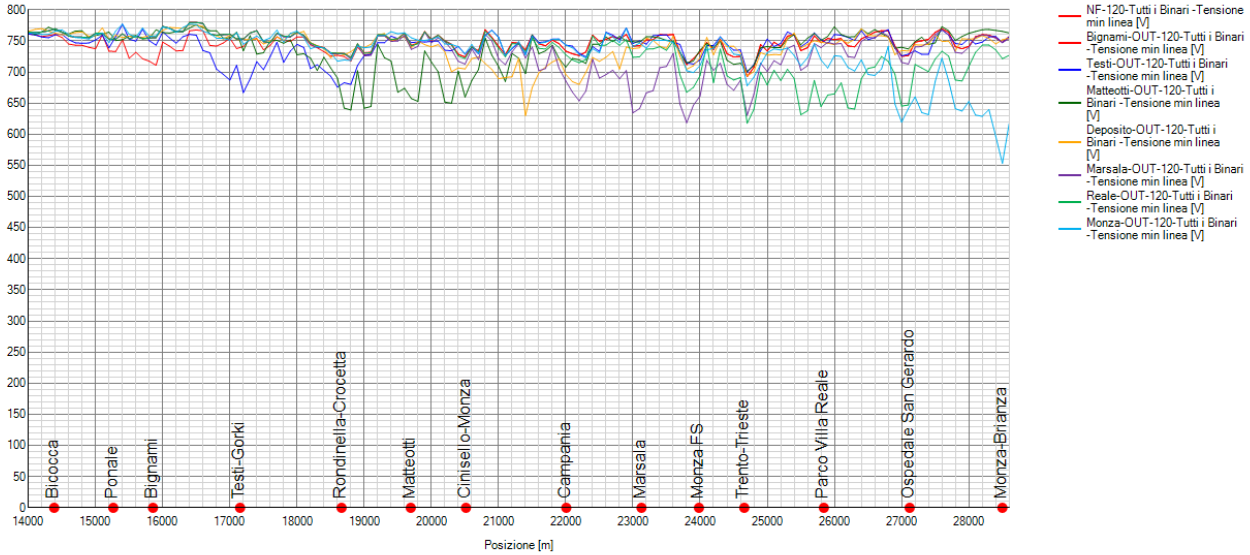


Figura 24: Scenari con cadenzamento a 120 [s], inviluppo dei valori minimi della tensione al pantografo lungo linea, misurata in corrispondenza della posizione dei treni

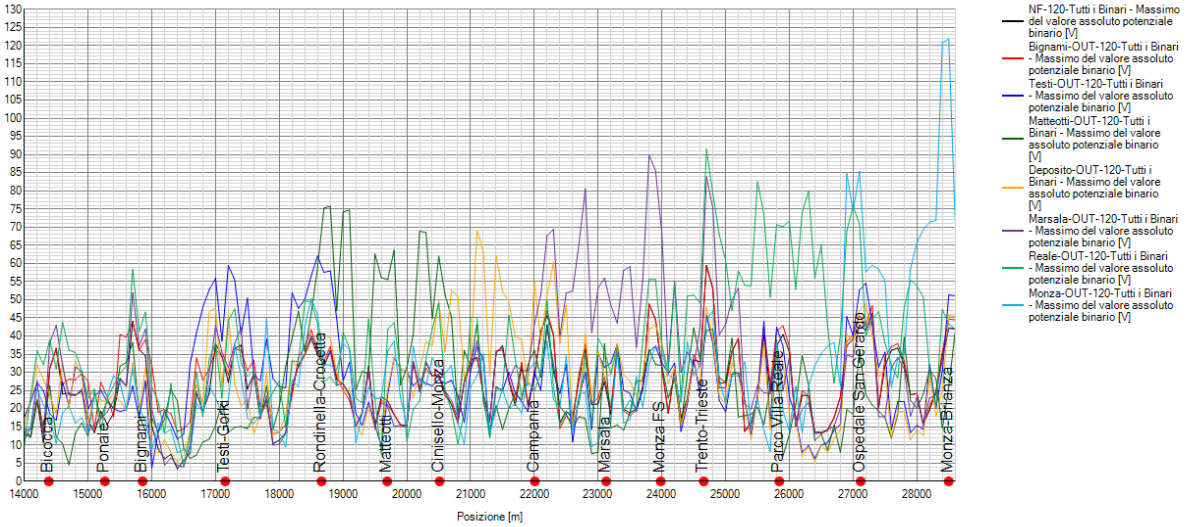


Figura 25: Scenari con cadenzamento a 120 [s], inviluppo dei valori massimi del potenziale binario-terra lungo linea, misurato in corrispondenza della posizione dei treni

In Tabella 30 sono riportati i valori massimi del valore assoluto del potenziale binario-terra di ciascuno scenario di simulazione, misurati in corrispondenza delle stazioni e in funzione del tempo:

- il potenziale binario-terra è misurato al centro banchina delle stazioni pari e dispari;
- il valore massimo del potenziale è calcolato in una finestra temporale multipla del cadenzamento dei treni;
- in tabella è riportato il valore massimo di tutte le simulazioni al variare del sincronismo dei treni pari e dispari.

In Tabella 31 sono riportati i risultati del potenziale di binario con la SSE di Monza Brianza fuori servizio e in funzione del sincronismo dei treni: il valore del potenziale è maggiore del limite previsto dalla normativa in un solo caso di sincronismo.

Scenario Simulazione		**NF-120**	**BIGNAMI OUT-120**	**TESTI OUT-120**	**MATTEOTTI OUT-120**	**DEPOSITO OUT-120**	**MARSALA OUT-120**	**REALE OUT-120**	**MONZA OUT-120**
Binario	**Stazione**	**Valore massimo del valore assoluto del potenziale binario-terra [V]**							
Dispari	Bicocca	40	36	36	37	40	43	41	45
Dispari	Ponale	44	40	40	39	43	48	50	48
Dispari	Bignami	43	50	44	39	45	49	55	53
Dispari	Testi-Gorki	44	43	58	43	46	47	51	50
Dispari	Rondinella-Crocetta	42	44	60	72	44	46	49	49
Dispari	Matteotti	48	42	40	70	42	42	43	42
Dispari	Cinisello-Monza	43	49	47	58	50	49	49	48
Dispari	Campania	38	46	44	42	62	58	44	43
Dispari	Marsala	51	40	40	38	38	77	37	37
Dispari	Monza FS	59	51	51	45	52	89	67	52
Dispari	Trento-Trieste	41	59	59	54	59	84	89	64
Dispari	Parco Villa Reale	49	43	45	40	42	42	81	42
Dispari	Ospedale San Gerardo	48	51	53	50	47	44	71	86
Dispari	Monza-Brianza	40	50	52	52	50	50	47	121
Pari	Bicocca	36	36	36	37	40	43	41	45
Pari	Ponale	37	41	36	40	38	42	44	43
Pari	Bignami	36	47	35	33	37	42	47	44
Pari	Testi-Gorki	43	43	57	43	45	47	51	50
Pari	Rondinella-Crocetta	45	46	59	67	45	45	45	45
Pari	Matteotti	42	41	40	71	42	42	42	42
Pari	Cinisello-Monza	44	44	42	66	57	44	44	44
Pari	Campania	49	50	50	49	60	55	49	49
Pari	Marsala	39	41	41	38	39	77	38	38
Pari	Monza FS	39	39	40	39	42	82	55	40
Pari	Trento-Trieste	46	45	43	45	46	60	65	46
Pari	Parco Villa Reale	41	43	45	40	42	42	81	42
Pari	Ospedale San Gerardo	49	51	53	50	47	44	71	86
Pari	Monza-Brianza	48	50	52	52	50	50	47	121

Tabella 30: Scenari con cadenzamento a 120 [s], potenziale binario-terra in corrispondenza delle banchine di stazione

Sincronismo dei treni	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**

Binario	Stazione	Valore massimo del valore assoluto del potenziale binario-terra [V]							
Dispari	Bicocca	36	23	20	42	36	31	45	20
Dispari	Ponale	37	33	28	48	45	29	37	26
Dispari	Bignami	34	32	32	53	45	29	36	26
Dispari	Testi-Gorki	26	22	27	42	42	50	28	35
Dispari	Rondinella-Crocetta	29	34	36	46	37	43	48	49
Dispari	Matteotti	29	28	36	42	25	33	34	36
Dispari	Cinisello-Monza	27	28	40	48	33	33	28	32
Dispari	Campania	22	35	23	43	32	34	36	35
Dispari	Marsala	19	37	27	37	33	35	37	33
Dispari	Monza FS	36	39	38	43	52	40	36	34
Dispari	Trento-Trieste	45	46	51	60	64	53	48	45
Dispari	Parco Villa Reale	32	32	35	42	39	38	36	38
Dispari	Ospedale San Gerardo	54	45	60	86	74	78	82	85
Dispari	Monza-Brianza	80	64	82	114	98	100	102	121
Pari	Bicocca	38	24	18	42	37	30	45	17
Pari	Ponale	31	29	23	43	40	34	42	27
Pari	Bignami	27	26	25	44	40	34	35	20
Pari	Testi-Gorki	26	22	25	43	41	50	28	35
Pari	Rondinella-Crocetta	34	41	45	42	38	44	41	34
Pari	Matteotti	30	26	35	42	28	34	35	37
Pari	Cinisello-Monza	33	29	31	44	31	38	30	32
Pari	Campania	29	40	38	49	42	42	38	35
Pari	Marsala	19	37	29	38	34	36	37	34
Pari	Monza FS	34	36	39	35	34	40	33	37
Pari	Trento-Trieste	41	43	46	35	41	33	35	30
Pari	Parco Villa Reale	32	32	35	42	39	38	36	38
Pari	Ospedale San Gerardo	54	45	60	86	74	78	82	85
Pari	Monza-Brianza	80	64	82	114	99	101	103	121

Tabella 31: Scenario *MONZA-OUT-120*, potenziale binario-terra in corrispondenza delle banchine di stazione

6.2.4. RISULTATI SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

Il presente paragrafo riassume i risultati della simulazione relativi alle sottostazioni elettriche della nuova sezione di linea, con l'inclusione delle SSE di Bicocca e Bignami. I valori di seguito riportati sono calcolati in un intervallo temporale multiplo del cadenzamento e pari a 240 [s].

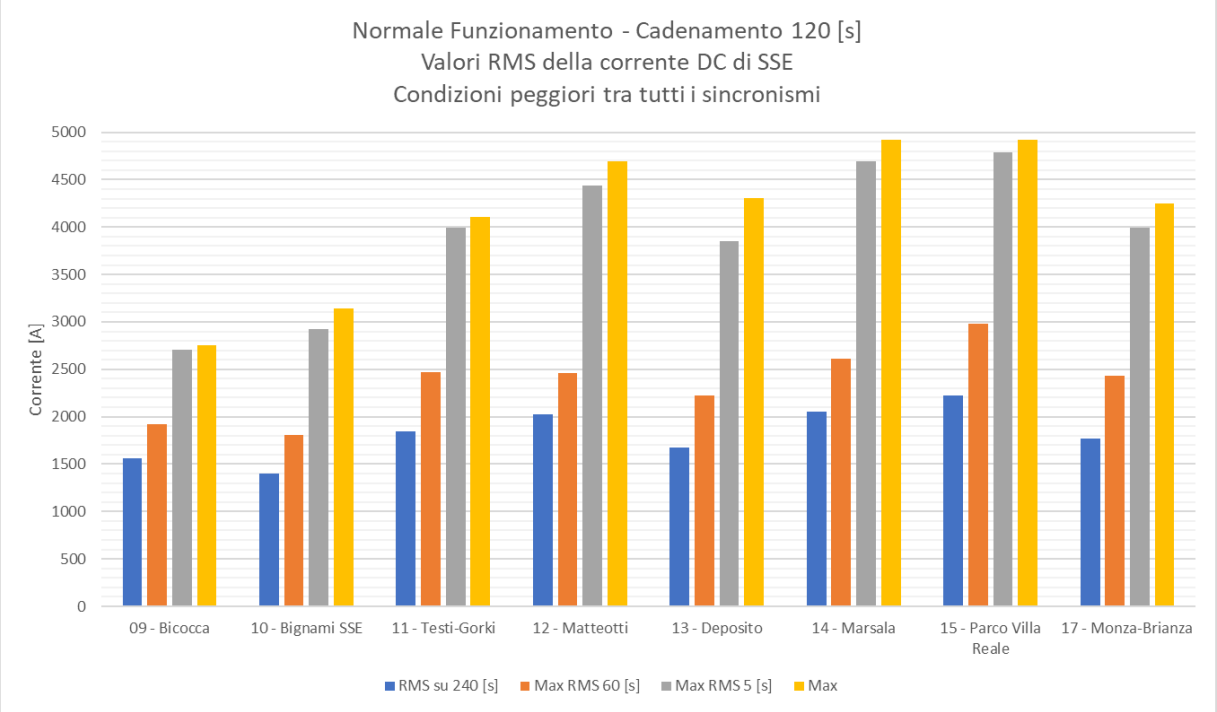


Figura 26: Scenario NF-120, valori RMS della corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi

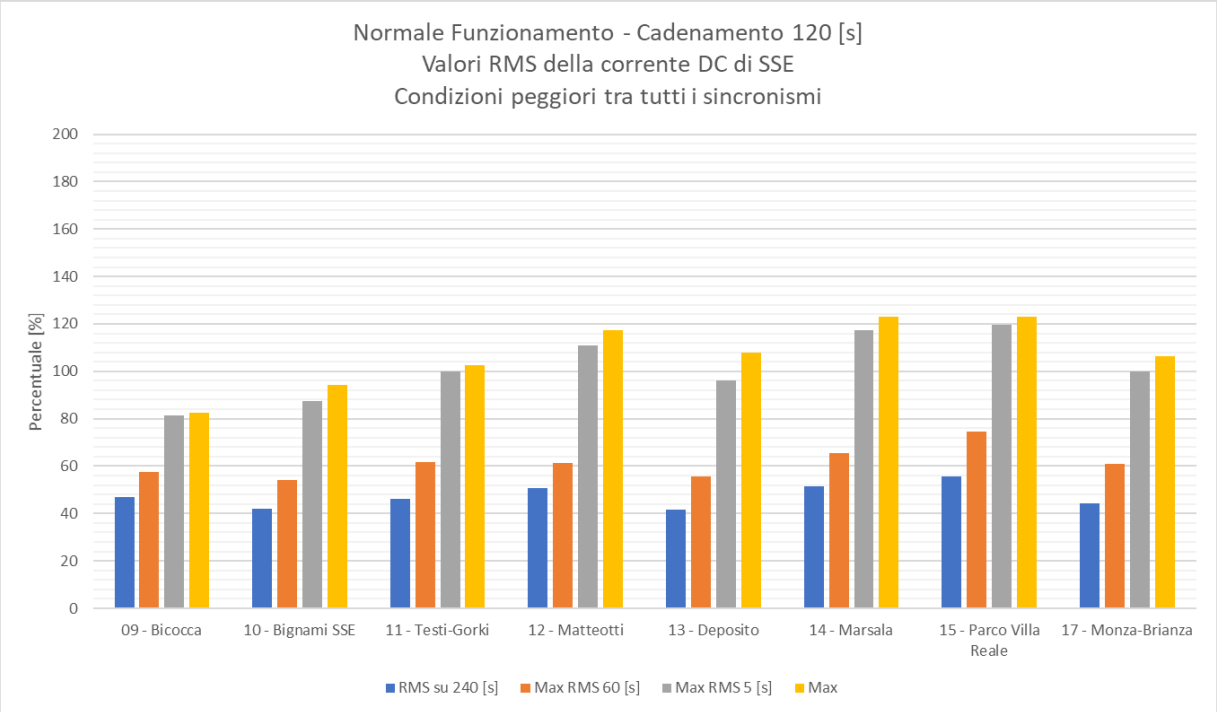


Figura 27: Scenario NF-120, corrente erogata dalle SSE in percentuale rispetto al valore nominale, caso peggiore tra tutti i sincronismi

La Figura 26 si riferisce alle condizioni di normale funzionamento del sistema di alimentazione e riporta, per ciascun gruppo di conversione, il valore peggiore (massimo) dei valori RMS e massimi delle correnti alle sbarre in corrente continua delle SSE, tra tutte le simulazioni al variare del sincronismo dei treni. La Figura 27 si riferisce

ai medesimi dati, ma riporta i valori in percentuale rispetto al valore nominale di corrente del gruppo di conversione.

SSE	Corrente nominale [A]	RMS su 240 [s]	Max RMS 60 [s]	Max RMS 5 [s]	Max di Abs
		Corrente assorbita DC [A]			
09 - Bicocca	3333	1558	1919	2706	2753
10 - Bignami SSE	3333	1400	1808	2920	3146
11 - Testi-Gorki	4000	1843	2474	3992	4104
12 - Matteotti	4000	2028	2457	4434	4692
13 - Deposito	4000	1670	2228	3849	4309
14 - Marsala	4000	2057	2613	4696	4920
15 - Parco Villa Reale	4000	2221	2980	4784	4917
16 - Ospedale San Gerardo	4000	1769	2433	3990	4252
17 - Monza-Brianza	4000	1558	1919	2706	2753

Tabella 32: Scenario NF-120, corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi

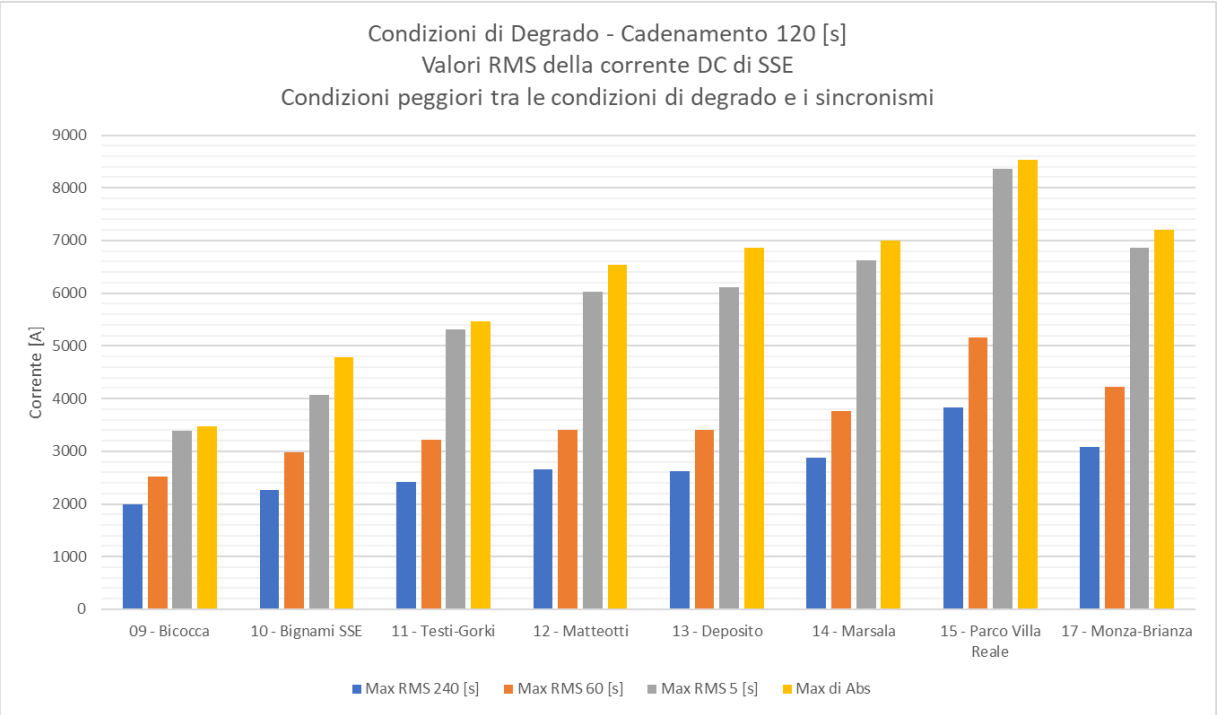


Figura 28: Condizioni di degrado a 120 [s], valori RMS della corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi e tutte le condizioni di degrado

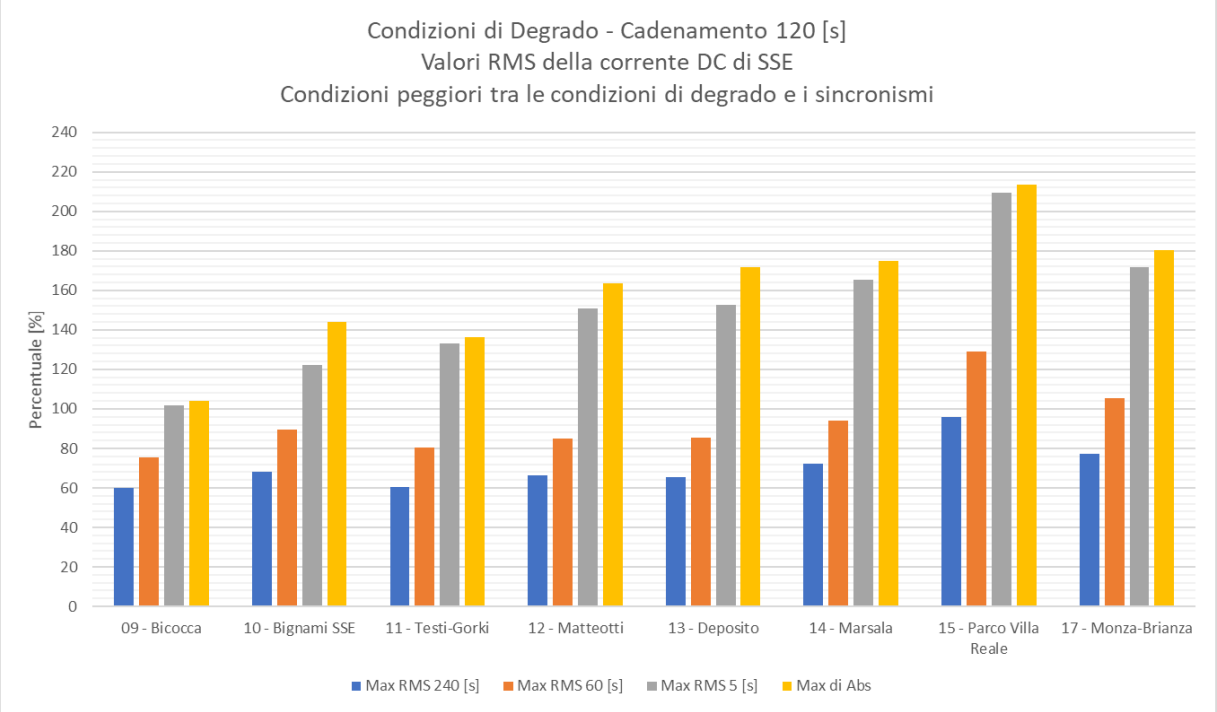


Figura 29: Condizioni di degrado a 120 [s], corrente erogata dalle SSE in percentuale rispetto al valore nominale, caso peggiore tra tutti i sincronismi e tutte le condizioni di degrado

La Figura 28 si riferisce alle condizioni di degrado del sistema di alimentazione e riporta, per ciascun gruppo di conversione, il valore peggiore (massimo) dei valori RMS e massimi delle correnti alle sbarre in corrente continua delle SSE, tra tutte le simulazioni al variare delle condizioni di degrado e del sincronismo dei treni.

La Figura 29 si riferisce ai medesimi dati, ma riporta i valori in percentuale rispetto al valore nominale di corrente del gruppo di conversione.

SSE	**Corrente nominale [A]**	**RMS su 240 [s]**	**Max RMS 60 [s]**	**Max RMS 5 [s]**	**Max di Abs**
		Corrente assorbita DC [A]			
09 - Bicocca	2333	1999	2516	3388	3471
10 - Bignami SSE	2333	2269	2986	4076	4793
11 - Testi-Gorki	4000	2422	3212	5321	5460
12 - Matteotti	4000	2651	3400	6029	6542
13 - Deposito	4000	2622	3412	6109	6869
14 - Marsala	4000	2882	3756	6621	6998
15 - Parco Villa Reale	4000	3827	5162	8369	8534
17 - Monza-Brianza	4000	3084	4216	6860	7205

Tabella 33: Condizioni di degrado a 120 [s], corrente erogata dalle SSE, caso peggiore tra tutti i sincronismi e tutte le condizioni di degrado

6.2.5. CORRENTI NEGLI INTERRUTTORI EXTRA-RAPIDI, NEI SEZIONATORI E NEGLI ALIMENTATORI

La Tabella 34 riporta i valori delle correnti negli interruttori extrarapidi, nei sezionatori di seconda fila e negli alimentatori di SSE. Per la condizione di normale funzionamento del sistema di alimentazione sono riportati i valori massimi delle correnti, tra tutte le simulazioni in funzione del sincronismo dei treni;

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi				Condizioni di Degrado Valori massimi tra i sincronismi e i degradi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max	Medio di Abs	RMS	Min	Max
09 - Bicocca		EX1 - Corrente [A]	667	806	-1913	1347	677	810	-1980	1347
		EX2 - Corrente [A]	717	886	-1241	2090	717	886	-1314	2090
		EX3 - Corrente [A]	770	954	-1020	2189	988	1200	-1173	2354
		EX4 - Corrente [A]	625	805	-2220	1348	826	996	-2452	1995
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	0	0	0	0
		93 - Corrente [A]	168	456	-2202	1074	168	458	-2222	1083
		28 - Corrente [A]	167	456	-1041	2209	168	459	-1048	2226
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	0	0	0	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	667	806	-1913	1347	677	810	-1980	1347
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	668	827	-1241	1969	668	827	-1314	1969
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	168	456	-1074	2202	168	458	-1083	2222
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	167	456	-1041	2209	168	459	-1048	2226
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	717	893	-1020	2067	954	1165	-1303	2325
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	625	805	-2220	1348	826	996	-2452	1995
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	885	1006	-1841	1540	1047	1161	-2219	1540
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	785	921	-1975	1496	934	1083	-2330	1496
10 - Bignami SSE		EX1 - Corrente [A]	787	947	-1612	2230	787	947	-1766	2230
		EX2 - Corrente [A]	659	864	-1569	1958	685	872	-1737	1958
		EX3 - Corrente [A]	556	768	-1445	2369	1101	1303	-2458	2701
		EX4 - Corrente [A]	465	582	-996	1525	937	1189	-1416	2589
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	603	734	-1496	1549
		93 - Corrente [A]	97	433	-2064	0	579	702	-2099	1394
		28 - Corrente [A]	80	398	-2196	0	527	691	-2241	1430
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	498	649	-1421	1430
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	787	947	-1612	2230	787	947	-1766	2230
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	670	876	-1569	1958	686	876	-1737	1958
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	97	433	0	2064	101	450	0	2148
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	80	398	-2196	0	81	406	-2241	0
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	464	631	-1445	1868	1028	1213	-2458	2405
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	465	582	-996	1525	937	1189	-1421	2589
	5x1x500 mm^2 Cu	R1 - Corrente [A]	887	967	-2295	1408	1233	1381	-3245	1690

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi				Condizioni di Degrado Valori massimi tra i sincronismi e i degradi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max	Medio di Abs	RMS	Min	Max
	(N-1)									
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	686	843	-1937	992	955	1168	-2785	1424
11 - Testi-Gorki		EX1 - Corrente [A]	364	524	-1663	1215	622	724	-1733	1554
		EX2 - Corrente [A]	623	811	-1240	2327	878	1035	-1571	2830
		EX3 - Corrente [A]	963	1234	-1511	3236	1344	1689	-1707	4426
		EX4 - Corrente [A]	683	801	-1969	1486	942	1121	-2014	2433
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	689	894	-1215	2405
		93 - Corrente [A]	169	464	-2256	1039	547	730	-2296	2087
		28 - Corrente [A]	173	468	-1147	2230	471	616	-1416	2257
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	444	536	-1366	1195
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	364	524	-1663	1215	689	894	-2405	1554
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	485	683	-738	1788	713	847	-1967	1788
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	169	464	-1039	2256	180	507	-1056	2518
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	173	468	-1147	2230	182	499	-1161	2423
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	812	1047	-1511	2924	1238	1467	-1707	3213
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	683	801	-1969	1486	942	1121	-2014	2433
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1077	1274	-3015	2216	1264	1486	-3863	2467
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1020	1243	-2680	1820	1234	1432	-3191	2111
12 - Matteotti		EX1 - Corrente [A]	940	1082	-1694	2097	1188	1417	-1832	2757
		EX2 - Corrente [A]	950	1168	-1798	2489	1179	1457	-2101	2875
		EX3 - Corrente [A]	928	1165	-1781	2980	1282	1621	-2177	4425
		EX4 - Corrente [A]	679	850	-2257	1877	926	1217	-2463	3242
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	792	915	-1843	1646
		93 - Corrente [A]	172	468	-2260	1133	702	837	-2317	1646
		28 - Corrente [A]	172	464	-1132	2193	662	822	-1752	2203
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	704	876	-1752	1827
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	940	1082	-1694	2097	1188	1417	-1832	2757
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	844	1040	-1798	2240	1105	1347	-2101	2440
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	172	468	-1133	2260	186	517	-1185	2558
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	172	464	-1132	2193	184	503	-1150	2322
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	792	1000	-1781	2980	1156	1438	-2177	4425
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	679	850	-2257	1877	926	1217	-2463	3242
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1064	1314	-2862	1663	1270	1604	-3741	2205
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1001	1204	-2894	1855	1208	1467	-3463	2288
13 - Deposito		EX1 - Corrente [A]	541	654	-1344	1983	1078	1296	-1542	3555
		EX2 - Corrente [A]	441	636	-1725	2691	869	1137	-2346	3318
		EX3 - Corrente [A]	565	691	-1289	1746	1060	1273	-1503	2907

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi				Condizioni di Degrado Valori massimi tra i sincronismi e i degradi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max	Medio di Abs	RMS	Min	Max
		EX4 - Corrente [A]	590	720	-1616	1795	1085	1317	-1794	2748
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	325	418	-1240	1101
		93 - Corrente [A]	109	465	-2314	1186	362	526	-2401	1218
		28 - Corrente [A]	79	366	-1294	2299	354	446	-1328	2378
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	361	458	-1807	1336
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	541	654	-1344	1983	1078	1296	-1542	3555
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	393	543	-1725	2066	830	1086	-2346	3318
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	109	465	-1186	2314	117	507	-1235	2567
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	79	366	-1294	2299	82	388	-1328	2516
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	514	627	-1335	1673	1048	1258	-2136	2907
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	590	720	-1616	1795	1085	1317	-1807	2748
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	909	1120	-2757	1279	1204	1511	-3931	1747
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	861	1092	-2684	1581	1171	1433	-3914	1961
14 - Marsala		EX1 - Corrente [A]	602	753	-1914	1535	848	1122	-1983	2517
		EX2 - Corrente [A]	762	986	-1352	2774	1082	1383	-1674	3686
		EX3 - Corrente [A]	935	1115	-1520	2249	1377	1663	-1639	3482
		EX4 - Corrente [A]	814	966	-1811	1901	1081	1244	-2114	2810
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	636	766	-1437	1547
		93 - Corrente [A]	165	454	-2220	1042	676	804	-2253	1547
		28 - Corrente [A]	170	464	-1100	2263	548	677	-1358	2320
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	633	771	-1511	1620
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	602	753	-1914	1535	848	1122	-1983	2517
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	606	807	-1352	2691	940	1197	-1674	3686
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	165	454	-1042	2220	174	486	-1105	2452
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	170	464	-1100	2263	183	507	-1162	2542
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	933	1102	-1520	2249	1332	1632	-1639	3482
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	814	966	-1811	1901	1081	1244	-2114	2810
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	1056	1305	-3022	1249	1334	1659	-4060	1645
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	1024	1201	-2580	1652	1275	1484	-3489	2125
15 - Parco Villa Reale		EX1 - Corrente [A]	799	945	-1287	2050	1140	1366	-1653	3229
		EX2 - Corrente [A]	890	1034	-1766	2858	1226	1423	-2073	3493
		EX3 - Corrente [A]	924	1151	-1996	2991	1714	2003	-3137	4366
		EX4 - Corrente [A]	721	877	-1957	1644	1579	2017	-2079	4861
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	711	811	-1709	1516
		93 - Corrente [A]	170	464	-2234	1063	649	769	-2333	1294
		28 - Corrente [A]	171	467	-1107	2272	603	690	-1393	2347
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	684	779	-1871	1615

SSE	Sezione e Tipo Alimentatori	Interruttori, Sezionatori e Alimentatori	Normale Funzionamento Valori massimi tra i sincronismi				Condizioni di Degrado Valori massimi tra i sincronismi e i degradi			
			Medio di Abs	RMS	Min	Max	Medio di Abs	RMS	Min	Max
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	799	945	-1287	2050	1140	1366	-1653	3229
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	752	899	-1766	1805	1107	1297	-2073	2698
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	170	464	-1063	2234	189	525	-1110	2561
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	171	467	-1107	2272	184	514	-1169	2566
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	766	972	-1996	2127	1588	1827	-3137	3027
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	721	877	-1957	1644	1579	2017	-2079	4861
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	884	1118	-2473	95	1520	1924	-4294	145
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	868	1105	-2444	108	1502	1904	-4245	146
17 - Monza-Brianza		EX1 - Corrente [A]	734	882	-1574	1750	1238	1552	-1574	3188
		EX2 - Corrente [A]	898	1184	-1278	2975	1333	1695	-1691	4022
		EX3 - Corrente [A]	268	396	-1092	1826	271	400	-1099	1848
		EX4 - Corrente [A]	79	283	0	1691	81	288	0	1737
		19 - Corrente [A]	0	0	0	0	286	432	-1055	2239
		93 - Corrente [A]	130	337	-1740	1092	163	339	-1775	1099
		28 - Corrente [A]	163	452	-888	2242	275	618	-911	2553
		84 - Corrente [A]	0	0	0	0	87	320	0	2035
	3x1x500 mm^2 Cu	A1 - Corrente [A]	734	882	-1574	1750	1238	1552	-2239	3188
	3x1x500 mm^2 Cu	A2 - Corrente [A]	769	989	-1278	2945	1213	1490	-2553	3842
	1x1x500 mm^2 Cu	A9 - Corrente [A]	130	337	-1092	1740	140	384	-1099	2239
	1x1x500 mm^2 Cu	A8 - Corrente [A]	163	452	-888	2242	188	533	-911	2553
	3x1x500 mm^2 Cu	A3 - Corrente [A]	153	173	-892	328	163	182	-922	332
	3x1x500 mm^2 Cu	A4 - Corrente [A]	79	283	0	1691	87	320	0	2035
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R1 - Corrente [A]	646	871	-2069	68	1190	1532	-3572	123
	5x1x500 mm^2 Cu (N-1)	R2 - Corrente [A]	664	899	-2190	37	1209	1553	-3633	78

Tabella 34: Scenari con cadenzamento a 120 [s], correnti massime negli interruttori, sezionatori e alimentatori

6.2.6. CORRENTI NELLA LINEA DI CONTATTO

La Tabella 35 riporta il valore RMS della corrente nella linea di contatto misurata nei punti notevoli della linea, quali ad esempio i punti di connessione degli alimentatori:
La colonna “Posizione [m] / SSE” riporta la posizione in cui è effettuata la misura della corrente, che può essere seguita:

- dalle lettere “p” e “d” nel caso in cui a tale posizione sia collegato un alimentatore di SSE: la misura è effettuata prima (“p”) e dopo (“d”) il punto di connessione nel senso delle progressive di linea crescenti;
- dal nome della SSE nel caso in cui la misura sia effettuata in corrispondenza dell’isolatore di sezione di una SSE.

	Scenario	Tutti	NF-120	BIGNAMI OUT-120	TESTI OUT-120	MATTEOTTI OUT-120	DEPOSITO OUT-120	MARSALA OUT-120	REALE OUT-120	MONZA OUT-120
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**								
Dispari	14334 Bicocca TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	14383 p	214	214	168	169	168	168	168	168	168
Dispari	14383 d	214	214	168	169	168	168	168	168	168
Dispari	14384 p	232	232	184	185	184	184	184	184	184
Dispari	14384 d	568	568	418	421	419	418	418	418	418
Dispari	14434 Bicocca TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	14435 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	14435 d	1622	1622	893	1165	980	903	894	894	893
Dispari	15264 p	864	577	605	864	625	614	610	607	605
Dispari	15264 d	864	577	605	864	625	614	610	607	605
Dispari	15855 p	1277	1277	834	808	840	833	827	830	832
Dispari	15855 d	1277	1277	834	808	840	833	827	830	832
Dispari	16004 p	1821	1821	947	734	900	938	937	943	946
Dispari	16004 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	16005 Bignami TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	16055 p	427	427	318	330	322	318	318	318	318
Dispari	16055 d	392	392	294	306	296	295	294	294	294
Dispari	16105 Bignami TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	16106 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	16106 d	1213	936	631	702	1213	678	625	631	631
Dispari	17100 p	894	894	524	724	894	568	528	523	524
Dispari	17100 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	17101 Testi TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	17151 p	206	206	161	163	164	162	161	161	161
Dispari	17151 d	550	550	436	440	482	444	436	436	436
Dispari	17151 p	550	550	436	440	482	444	436	436	436
Dispari	17151 d	545	545	432	436	478	440	432	432	432
Dispari	17201 Testi TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	17202 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	17202 d	1467	1341	1047	1027	730	1467	1089	1064	1050
Dispari	18662 p	1059	778	672	675	815	1059	713	680	675
Dispari	18662 d	1038	794	662	665	804	1038	703	668	663
Dispari	19641 p	1417	1152	1082	1120	1417	915	1097	1081	1082
Dispari	19641 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	19642 Matteotti TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	19692 p	229	229	180	180	180	186	182	180	180
Dispari	19692 d	241	241	189	189	190	195	191	189	189
Dispari	19692 p	241	241	189	189	190	195	191	189	189
Dispari	19692 d	550	550	429	430	431	481	439	432	430
Dispari	19742 Matteotti TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	Scenario	Tutti	NF-120	BIGNAMI OUT-120	TESTI OUT-120	MATTEOTTI OUT-120	DEPOSITO OUT-120	MARSALA OUT-120	REALE OUT-120	MONZA OUT-120
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**								
Dispari	19743 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	19743 d	1438	1330	1000	998	1013	837	1438	1090	1016
Dispari	20514 p	1060	768	633	623	639	1060	949	685	643
Dispari	20514 d	1078	778	636	627	646	1078	953	683	646
Dispari	21331 p	1296	941	654	662	694	1296	418	612	643
Dispari	21331 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	21332 Deposito TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	21382 p	431	431	341	341	341	351	375	345	342
Dispari	21382 d	408	408	317	317	318	328	346	322	318
Dispari	21432 Deposito TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	21433 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	21433 d	1258	873	627	627	630	617	526	1258	696
Dispari	22008 p	1233	771	598	595	591	567	609	1233	664
Dispari	22008 d	1208	770	592	589	584	563	616	1208	651
Dispari	23076 p	1112	1061	737	737	737	794	1112	760	723
Dispari	23076 d	137	137	109	109	109	109	110	115	110
Dispari	23077 Marsala TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	23127 p	201	201	159	159	159	160	161	168	160
Dispari	23127 d	216	216	169	169	170	170	171	178	170
Dispari	23127 p	216	216	169	169	170	170	171	178	170
Dispari	23127 d	550	550	423	423	423	423	427	456	428
Dispari	23177 Marsala TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	23178 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	23178 d	2048	2048	1102	1102	1101	1092	1083	804	1632
Dispari	23983 p	1318	1318	786	784	781	773	765	792	1244
Dispari	23983 d	1316	1316	777	775	772	764	757	790	1228
Dispari	24658 p	1205	681	707	707	706	707	695	881	1205
Dispari	24658 d	1180	696	704	704	703	705	696	894	1180
Dispari	25791 p	1569	1569	945	946	952	956	981	1366	811
Dispari	25791 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	25792 Reale TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	25842 p	212	212	165	165	165	165	166	167	173
Dispari	25842 d	225	225	176	176	176	176	176	178	184
Dispari	25842 p	225	225	176	176	176	176	176	178	184
Dispari	25842 d	558	558	430	430	430	431	431	435	494
Dispari	25892 Reale TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	25893 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	25893 d	1827	1220	972	972	972	972	966	946	769
Dispari	27069 Ospedale TN1	1388	729	620	619	619	619	620	606	966
Dispari	27119 p	1383	745	607	607	606	607	607	588	942

	Scenario	Tutti	NF-120	BIGNAMI OUT-120	TESTI OUT-120	MATTEOTTI OUT-120	DEPOSITO OUT-120	MARSALA OUT-120	REALE OUT-120	MONZA OUT-120
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**								
Dispari	27119 d	1370	769	600	600	600	600	600	584	942
Dispari	27169 Ospedale TN2	1304	856	607	607	608	607	608	600	958
Dispari	28448 p	1552	1007	882	882	882	885	893	953	1552
Dispari	28448 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	28449 Monza TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	28499 p	223	223	174	174	174	174	174	174	175
Dispari	28499 d	372	372	294	294	294	294	294	295	299
Dispari	28499 p	372	372	294	294	294	294	294	295	299
Dispari	28499 d	364	364	288	288	288	288	288	289	293
Dispari	28549 Monza TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	28550 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispari	28550 d	206	206	173	173	173	173	173	174	176
Dispari	28663 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	14334 Bicocca TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	14384 p	576	576	422	425	425	423	422	422	422
Pari	14384 d	581	581	426	429	430	427	426	426	426
Pari	14384 p	581	581	426	429	430	427	426	426	426
Pari	14384 d	205	205	161	162	162	161	161	161	161
Pari	14434 Bicocca TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	14435 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	14435 d	1295	1295	805	996	828	811	801	804	806
Pari	15265 p	795	735	626	795	619	620	627	627	626
Pari	15265 d	788	704	631	788	616	622	632	632	631
Pari	15856 p	1773	1773	937	777	912	925	931	935	936
Pari	15856 d	1778	1778	940	775	915	926	934	938	939
Pari	16004 p	1846	1846	876	691	868	864	871	874	875
Pari	16004 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	16005 Bignami TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	16055 p	430	430	340	343	347	342	340	340	340
Pari	16055 d	261	261	206	209	210	207	206	206	206
Pari	16105 Bignami TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	16106 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	16106 d	1189	694	582	649	1189	651	578	580	581
Pari	17100 p	1122	1122	683	847	616	661	676	680	682
Pari	17100 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	17101 Testi TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	17151 p	539	539	427	433	462	428	427	427	427
Pari	17151 d	252	252	195	196	197	198	196	196	195
Pari	17151 p	252	252	195	196	197	198	196	196	195
Pari	17151 d	241	241	186	187	187	188	187	186	186

	Scenario	Tutti	NF-120	BIGNAMI OUT-120	TESTI OUT-120	MATTEOTTI OUT-120	DEPOSITO OUT-120	MARSALA OUT-120	REALE OUT-120	MONZA OUT-120
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**								
Pari	17201 Testi TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	17202 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	17202 d	1121	1113	801	796	536	1121	835	810	803
Pari	18662 p	1100	825	773	803	1100	959	792	768	772
Pari	18662 d	1112	822	778	810	1112	966	794	772	776
Pari	19641 p	1347	1261	1040	1080	1347	822	1053	1041	1040
Pari	19641 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	19642 Matteotti TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	19692 p	557	557	425	425	426	467	429	426	425
Pari	19692 d	562	562	429	429	431	471	433	430	429
Pari	19692 p	562	562	429	429	431	471	433	430	429
Pari	19692 d	234	234	181	181	182	183	182	181	181
Pari	19742 Matteotti TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	19743 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	19743 d	1217	988	850	853	880	876	1217	916	862
Pari	20514 p	1104	818	547	547	574	1104	708	527	542
Pari	20514 d	1105	798	546	547	579	1105	695	524	540
Pari	21331 p	1086	838	543	546	566	1086	446	511	536
Pari	21331 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	21332 Deposito TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	21382 p	226	226	181	181	181	184	188	186	182
Pari	21382 d	401	401	318	319	318	325	342	329	320
Pari	21432 Deposito TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	21433 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	21433 d	1317	1029	720	720	720	681	458	1317	797
Pari	22008 p	898	674	523	527	526	584	785	898	522
Pari	22008 d	900	648	524	528	528	591	789	900	521
Pari	23076 p	1208	1208	807	808	807	844	1197	677	781
Pari	23076 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	23077 Marsala TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	23127 p	552	552	427	427	427	429	436	472	435
Pari	23127 d	557	557	431	431	432	433	440	476	439
Pari	23127 p	557	557	431	431	432	433	440	476	439
Pari	23127 d	225	225	172	172	172	172	173	179	174
Pari	23177 Marsala TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	23178 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	23178 d	1581	1581	966	966	967	965	959	771	1244
Pari	23983 p	939	909	674	675	676	675	669	887	939
Pari	23983 d	928	889	674	675	676	675	672	898	928
Pari	24658 p	1027	888	706	706	708	711	717	1027	928

	Scenario	Tutti	NF-120	BIGNAMI OUT-120	TESTI OUT-120	MATTEOTTI OUT-120	DEPOSITO OUT-120	MARSALA OUT-120	REALE OUT-120	MONZA OUT-120
Binario	**Posizione [m] / SSE**	**Valore massimo della corrente RMS tra tutti i sincronismi dei treni [A]**								
Pari	24658 d	1038	880	718	718	720	724	730	1038	937
Pari	25791 p	1643	1643	899	900	901	913	936	1297	690
Pari	25791 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	25792 Reale TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	25842 p	541	541	430	430	430	430	431	437	479
Pari	25842 d	547	547	434	434	434	435	435	442	484
Pari	25842 p	547	547	434	434	434	435	435	442	484
Pari	25842 d	220	220	173	173	173	173	174	175	182
Pari	25892 Reale TN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	25893 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	25893 d	2017	1058	877	877	878	878	876	883	779
Pari	27069 Ospedale TN1	1407	844	595	596	597	600	602	620	994
Pari	27119 p	1320	803	624	625	624	627	632	667	1147
Pari	27119 d	1319	796	636	636	637	639	644	679	1168
Pari	27169 Ospedale TN2	1339	791	632	631	632	634	638	663	1154
Pari	28448 p	1490	1281	989	990	990	992	1001	1061	1490
Pari	28448 d	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	28449 Monza TN1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	28499 p	536	536	429	429	429	429	429	429	440
Pari	28499 d	181	181	143	143	143	143	144	144	147
Pari	28499 p	181	181	143	143	143	143	144	144	147
Pari	28499 d	165	165	131	131	131	131	131	131	134
Pari	28549 MonzaTN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	28550 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pari	28550 d	366	366	283	283	283	283	283	283	288
Pari	28663 p	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 35: Scenari con cadenzamento a 120 [s], correnti nella linea di contatto

6.2.7. CAVI DI RINFORZO

Il valore massimo RMS, calcolato sul cadenzamento e in funzione delle condizioni di degrado e del sincronismo dei treni, della corrente che circola nei cavi di rinforzo in parallelo ai binari (valore riferito a due cavi in parallelo con una sezione equivalente pari a 2x1x400 Cu) è pari a 679 [A].

6.3. CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTOCIRCUITO

6.3.1. CORRENTI DI CORTOCIRCUITO MASSIME

La Figura 31 mostra le caratteristiche esterne del gruppo di conversione da 2500 [kW] e del gruppo di conversione da 3000 [kW], calcolate in base ai parametri del trasformatore riportati in Tabella 14 e assumendo una potenza di cortocircuito infinita della rete primaria di alimentazione.

Le correnti massime di cortocircuito a regime risultano essere pari a:

- 26019 [A] per il gruppo da 2500 KW.
- 29415 [A] per il gruppo da 3000 KW.

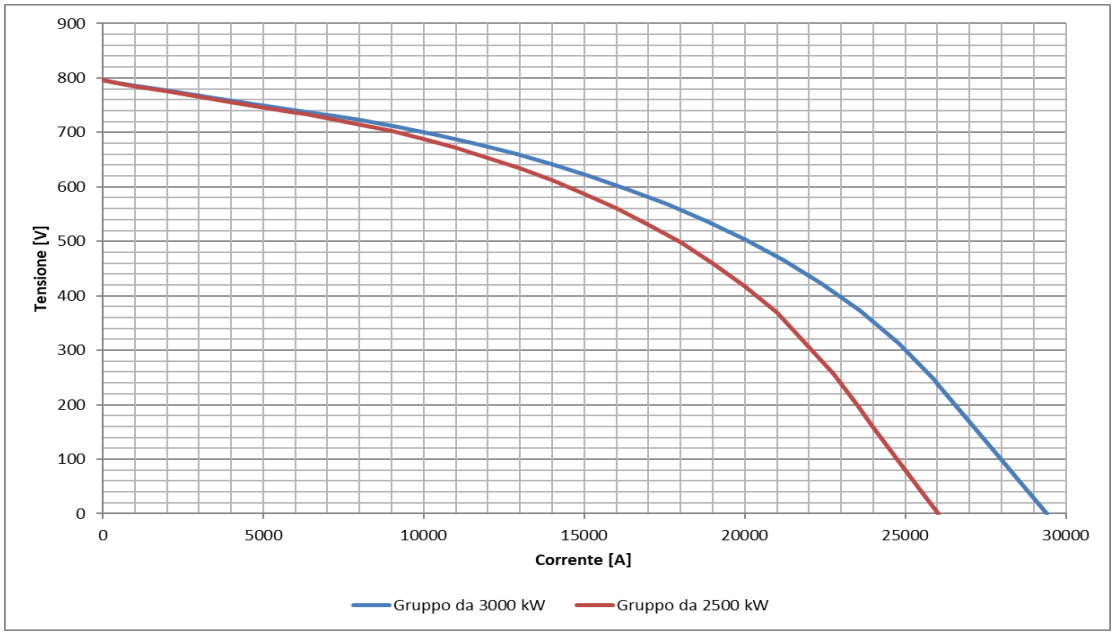


Figura 30: Caratteristica esterna completa della SSE da 2500 kW e da 3000 kW, alle sbarre in corrente continua

6.3.2. CORRENTI DI CORTOCIRCUITO MINIME

Nel presente paragrafo sono riportati i calcoli della corrente di cortocircuito in condizioni di regime permanente. Sono state prese in considerazione le seguenti tratte di linea:

- fuori servizio totale della SSE di Deposito, che presenta gli alimentatori con una lunghezza maggiore (300 metri);
- fuori servizio della SSE di Parco Villa Reale, che massimizza la distanza tra le SSE contigue in servizio (5373 metri)
- fuori servizio della SSE di Monza/Brianza perché di testa alla linea.

I calcoli delle correnti di cortocircuito sono stati effettuati con le seguenti ipotesi:

- caratteristica dei gruppi di conversione e parametri dei conduttori definiti in precedenza;
- risoluzione della rete elettrica a regime con algoritmo di load flow;
- arco di cortocircuito modellato con un generatore costante di 200 [V];

- presenza di un sistema di intertripping che collega le due stazioni contigue a quella guasta;
- muovendo il punto di cortocircuito sul solo binario dispari;
- assumendo potenza di cortocircuito infinita a monte dei trasformatori di SSE;
- a partire dalla configurazione di normale funzionamento della rete elettrica di alimentazione e con le modifiche riportate in Tabella 36.

Caso	SSE Fuori Servizio	Relazione di intertripping	Punto di cortocircuito
A	Guasto totale della SSE di Deposito	Tra la SSE di Matteotti e la SSE di Marsala	Il punto di cortocircuito si muove dalla progressiva 19743 [m] alla progressiva 23076 [m] sul binario dispari
B	Guasto totale della SSE di Parco Villa Reale	Tra la SSE di Marsala e la SSE di Monza Brianza	Il punto di cortocircuito si muove dalla progressiva 23178 [m] alla progressiva 28448 [m] sul binario dispari
C	Guasto totale della SSE di Monza Brianza	Nessuna	Il punto di cortocircuito si muove dalla progressiva 25893 [m] alla progressiva 28663 [m] sul binario dispari

Tabella 36: elenco casi di simulazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito.

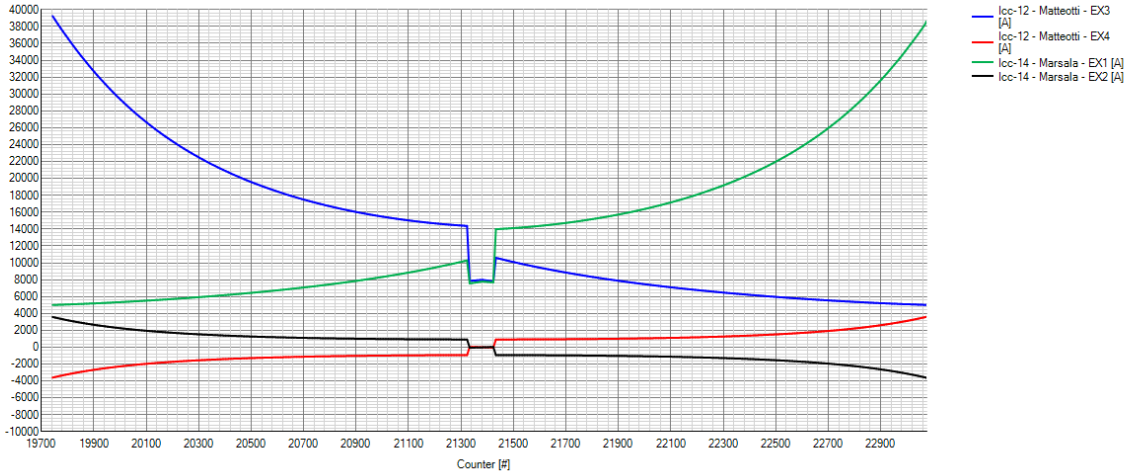


Figura 31: Calcolo delle correnti di cortocircuito a regime, Guasto della SSE di Deposito, Binario Dispari

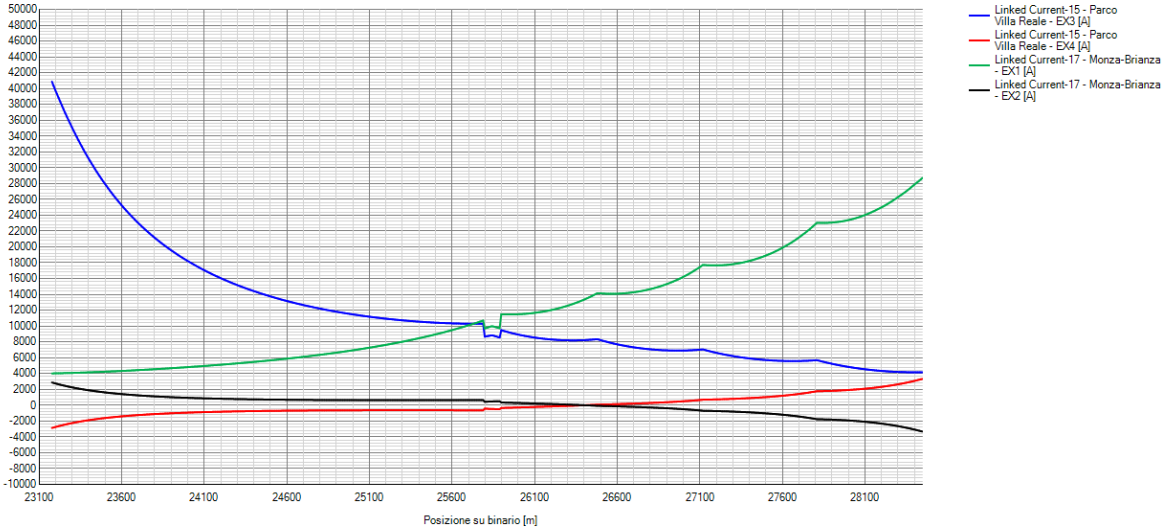


Figura 32: Calcolo delle correnti di cortocircuito a regime, Guasto totale della SSE di Parco Villa Reale, Binario Dispari

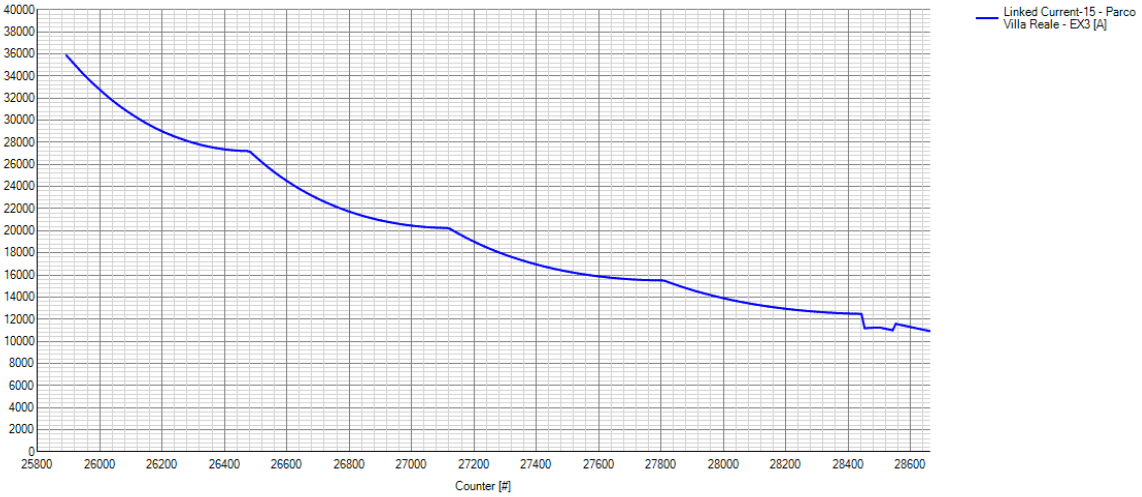


Figura 33: Calcolo delle correnti di cortocircuito a regime, Guasto totale della SSE di Monza/Brianza, Binario Dispari

La Figura 31, la Figura 32 e la Figura 33 mostrano l'andamento delle correnti negli interruttori extrarapidi che proteggono la sezione di linea oggetto del guasto, nelle configurazioni descritte in Tabella 36.

La Tabella 37 riporta i risultati dei calcoli delle correnti di cortocircuito ed in particolare la posizione del baricentro elettrico della tratta, in cui la corrente erogata dai due interruttori agli estremi è simile e la corrente erogata dagli interruttori in tale posizione.

Caso	SSE Fuori Servizio	Posizione baricentro elettrico [m]	Corrente negli interruttori extrarapidi in corrispondenza del baricentro elettrico [A]
A	Guasto totale della SSE di Deposito	21423	SSE Matteotti, Interruttore EX3 => 7796 [A] SSE Marsala, Interruttore EX1 => 7692 [A]
B	Guasto totale della SSE di Parco Villa	23423	SSE Marsala, Interruttore EX3 => 8659 [A] SSE Monza Brianza, Interruttore EX1 => 9695 [A]

Caso	SSE Fuori Servizio	Posizione baricentro elettrico [m]	Corrente negli interruttori extrarapidi in corrispondenza del baricentro elettrico [A]
	Reale		
C	Guasto totale della SSE di Monza Brianza	28663	SSE Parco Villa Reale, Interruttore EX3 => 10928 [A]

Tabella 37: risultati calcolo delle correnti di cortocircuito a regime.

In Figura 31, nel caso di fuori servizio totale della SSE di Deposito, la corrente minima di cortocircuito è in corrispondenza della tratta neutra, alimentata dagli alimentatori 8 e 9 di SSE; nel modello gli alimentatori A8 e A9 sono realizzati con un solo cavo da 500 mm^2 in rame della lunghezza di 300 metri. In questo caso l'utilizzo di due o tre cavi in parallelo può essere utile per aumentare i valori delle correnti di cortocircuito in corrispondenza della tratta neutra.

7. CONCLUSIONI

La presente relazione di calcolo conferma la coerenza rispetto ai limiti normativi e operativi del dimensionamento del prolungamento a Monza della Linea 5 di Milano, per quanto riguarda il sistema di alimentazione della trazione elettrica.

Le diverse ipotesi di esercizio prese in considerazione hanno lo scopo di verificare la linea, anche in condizioni di funzionamento particolarmente gravose.

Lo studio è effettuato tenendo conto del recupero di energia fra i treni e nelle condizioni peggiori di esercizio, assumendo che i treni siano a pieno carico per l'intero tragitto e che implementino una marcia tesa, che sfrutta al massimo le prestazioni del veicolo per inseguire il profilo di velocità della linea.

Per tenere conto delle diverse possibilità di combinazione degli assorbimenti istantanei dei veicoli lungo linea (sia in relazione alla naturale variabilità di tali grandezze, sia in relazione a possibili perturbazioni della circolazione), per tutti gli scenari studiati sono state eseguite diverse simulazioni facendo variare il sincronismo dei treni nelle due diverse direzioni di marcia (variando la sincronizzazione dei treni cambia la contemporaneità delle fasi di accelerazione e frenatura, con conseguenze sui consumi energetici, sulle cadute di tensione e sulle grandezze elettriche in genere).

7.1. SIMULAZIONI CON CADENZAMENTO A 75 [S]

Il cadenzamento a 75 [s] è stato simulato solamente in condizioni di normale funzionamento del sistema elettrico di alimentazione.

Tensione al pantografo

La tensione al pantografo è sempre maggiore del valore limite di 500 [V] previsto da normativa, con un valore minimo di 639 [V].

Potenziale binario-terra

Il potenziale di binario è sempre inferiore del valore limite di 120 [V], con un valore massimo di 105 [V].

Sottostazioni elettriche

Non si riscontrano sovraccarichi nelle nuove SSE previste a progetto, confermando a pieno la taglia dei gruppi di conversione scelta.

La sola SSE di Bicocca, sulla linea esistente, lavora in condizioni di contenuto sovraccarico (circa il 126,1 [%]), con valori istantanei della corrente paria 8216 [A]; il massimo valore RMS su una finestra di 60 [s] è pari al 141 [%] del valore nominale. Tuttavia, considerando il fatto che ad oggi l'utilizzo del cadenzamento di 75 s è ipotizzabile solo in condizioni molto particolari (es. per recuperare situazioni di ritardo o per eventi particolari) e, quindi, intrinsecamente di durata limitata, si può affermare che

il sistema è in grado di sostenere questo sovraccarico. Inoltre, come riportato in Tabella 15, il gruppo di SSE è in grado di sostenere il 150% del proprio carico per 2 h.

Per le nuove SSE, il valore massimo della corrente RMS alle sbarre DC è pari a 3356 [A] e il valore di picco istantaneo è pari a 8538 [A], il 214% del valore nominale.

Alimentatori

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico degli alimentatori di SSE.

Linea di contatto

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico della terza rotaia.

Cavi di rinforzo

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico dei cavi di rinforzo.

7.2. SIMULAZIONI CON CADENZAMENTO A 120 [S]

Il cadenzamento a 120 [s] è stato simulato sia in condizioni di normale funzionamento del sistema elettrico di alimentazione, sia nella condizione di degrado corrispondente al fuori servizio di una qualsiasi delle SSE.

Tensione al pantografo

La tensione al pantografo è sempre maggiore del valore limite di 500 [V] previsto da normativa, con un valore minimo di 553 [V] in caso di fuori servizio della SSE di Monza Brianza.

Potenziale binario-terra

Il potenziale di binario è sempre sostanzialmente inferiore del valore limite di 120 [V]. Solo nel caso di fuori servizio della SSE di Monza Brianza in una particolare combinazione di distribuzione dei treni (un caso di sincronismo su 8) si riscontra un potenziale massimo di binario di pochissimo superiore a 120 [V] e pari a 122 [V]. Questo valore tuttavia è accettabile considerando il fatto che la norma CEI EN 50122-1 prescrive come valore limite 120 V continuativi e considerando che il valore misurato è il valore massimo del valore assoluto del potenziale binario-terra e che si rileva il superamento del valore limite soltanto con un caso di sincronismo.

Sottostazioni elettriche

Non si riscontrano sovraccarichi nelle SSE appartenenti alla tratta di linea presa in esame.

Per le nuove SSE, il valore massimo della corrente RMS alle sbarre DC è pari a 3827 [A] e il valore di picco istantaneo è pari a 8534 [A] per la SSE di Parco Villa Reale, nel

caso di fuori servizio della SSE di Monza Brianza; il valore massimo RMS, calcolato su una finestra di 60 secondi è pari a 5162 [A], il 129% del valore nominale.

Alimentatori

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico degli alimentatori di SSE.

Linea di contatto

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico della terza rotaia.

Cavi di rinforzo

Non sono state riscontrate condizioni di sovraccarico dei cavi di rinforzo.

7.3. CONSIDERAZIONI FINALI

Come già riportato al Capitolo 2, la presente relazione, dovendo fungere da input progettuale per lo sviluppo del Progetto di Fattibilità tecnico economica, è stata sviluppata considerando la versione del tracciato compresa nel progetto di Fase 1 (Gennaio 2018) che, rispetto a quella prevista nella presente emissione progettuale, presenta alcune differenze relativamente al posizionamento delle Stazioni/Sottostazioni e una variazione del tracciato tra la stazione di Rondinella Crocetta e la Stazione di Cinisello-Monza con conseguente aumento della distanza tra le due stazioni ed il riposizionamento della Stazione Matteotti, rinominata Stazione Lincoln.

A seguito della definizione del tracciato così come riportato negli elaborati della presente emissione è stata effettuato un riesame del progetto tramite il quale è stato valutato che tali differenze non sono impattanti sul dimensionamento del sistema e, pertanto, considerando anche la fase di progetto di cui trattasi, si è convenuto di non rieseguire le simulazioni elettriche.

Analizzando i risultati riportati nel presente documento (in termini di tensioni al pantografo, di tensioni di binario e di potenza erogata da gruppi di conversione) è stato infatti valutato che i margini dei valori stimati rispetto ai limiti normativi ed ai limiti operativi degli impianti e dei treni sono tali da rendere ampiamente confidenti circa il fatto che i risultati elettrici ipoteticamente ricavati dalle simulazioni, qualora venissero ripetute con la nuova versione del tracciato, non subirebbero variazioni tali da comportare modifiche sostanziali al sistema progettato.

In particolare:

- I valori di potenziale di binario più critici si hanno nel caso di fuori servizio totale della SSE di Monza Brianza, tuttavia la variazione dell'interasse fra le due SSE tracciato in questo tratto è di solo 3/5 metri sicuramente non impattante sui risultati;
- Il tratto di linea che subisce il maggior incremento della distanza tra due SSE funzionanti nel caso di fuori servizio di una SSE intermedia è quello tra la SSE Lincoln (ex Matteotti) e la SSE Marsala con la SSE di Deposito fuori servizio. In tale scenario i valori minimi di Tensione in linea e i valori massimi di potenziale di binario riscontrati tenendo conto della versione di tracciato considerata nel presente elaborato sono rispettivamente pari a 630 V e 70 V. Tali valori sono ampiamente all'interno dei limiti prescritti dalla normativa per cui anche un

aumento di circa 790 m della lunghezza della tratta in esame non causerebbe problemi di non rispetto dei valori limiti;

- Un altro tratto di linea che subisce un incremento della distanza tra due SSE funzionanti nel caso di fuori servizio di una SSE intermedia è quello tra la SSE Testi Gorki e la SSE Deposito con la SSE Lincoln (ex Matteotti) fuori servizio. In tal scenario i valori minimi di Tensione in linea e i valori massimi di potenziale di binario riscontrati tenendo conto della versione di tracciato considerata nel presente elaborato sono rispettivamente pari a 639 V e 76 V. Tali valori sono ampiamente all'interno dei limiti prescritti dalla normativa per cui anche un aumento di circa 450 m della lunghezza della tratta in esame non causerebbe problemi di non rispetto dei valori limiti.
- Altro tratto di linea che subisce un incremento della distanza tra due SSE funzionanti nel caso di fuori servizio di una SSE intermedia è quello tra la SSE Deposito e la SSE Parco Villa Reale con la SSE Marsala fuori servizio. In tal scenario i valori minimi di Tensione in linea e i valori massimi di potenziale di binario riscontrati tenendo conto della versione di tracciato considerata nel presente elaborato sono rispettivamente pari a 619 V e 91 V. Tali valori sono ampiamente all'interno dei limiti prescritti dalla normativa per cui anche un aumento di circa 100 m della lunghezza della tratta in esame non causerebbe problemi di non rispetto dei valori limiti.
- Infine, l'altro tratto di linea che subisce un incremento della distanza tra due SSE funzionanti nel caso di fuori servizio di una SSE intermedia è quello tra la SSE Marsala e la SSE Monza Brianza con la SSE Parco Villa Reale fuori servizio. In tal scenario i valori minimi di Tensione in linea e i valori massimi di potenziale di binario riscontrati tenendo conto della versione di tracciato considerata nel presente elaborato sono rispettivamente pari a 618 V e 91 V. Tali valori sono ampiamente all'interno dei limiti prescritti dalla normativa per cui anche un aumento di circa 120 m della lunghezza della tratta in esame non causerebbe problemi di non rispetto dei valori limiti

Nella successiva fase progettuale si valuterà se ripetere le simulazioni utilizzando l'ultima versione disponibile per il tracciato, che potrebbe subire ulteriori piccole messe a punto.

I valori delle correnti di cortocircuito minime ricavati al paragrafo 6.3.2 mettono in evidenza una sostanziale possibilità di corretta taratura delle protezioni.

I risultati di questa relazione di verifica del dimensionamento portano a concludere che il sistema di trazione elettrica del prolungamento a Monza della Linea 5 di Milano, nelle ipotesi assunte, risulta sostanzialmente compatibile con un cadenzamento di 75 s in normale esercizio e di 120 s negli scenari degradati di funzionamento con N-1 SSE.