Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)



TRAZIONE ELETTRICA
SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI TRAZIONE ELETTRICA

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	PR	LV	LTE	SS1	R	001	00	A

SYSTRA SOTECNI SYSTRA SYSTRA SWS ITALFERR architecna LAND

Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Emissione	Redatto	A. Papalini	10/10/2023
		Verificato	N. Carones	10/10/2023
		Approvato	G. Buffarini	10/10/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	10/10/2023
B		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
C		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
D		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		

INDICE

1.	**GENERALITA'**	**7**
2.	**NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**	**8**
2.1	**RIFERIMENTI NORMATIVI**	**8**
5.1	**RIFERIMENTI PROGETTUALI**	**9**
6.	**DATI DI INPUT**	**10**
6.1	**CARATTERISTICA DEL TRACCIATO**	**10**
6.2	**IPOTESI DI TRAFFICO**	**13**
6.3	**TIPOLOGIA DI MATERIALE ROTABILE**	**14**
6.4	**INPUT DI ESERCIZIO**	**15**
6.5	**LINEA DI CONTATTO**	**16**
6.6	**ALIMENTATORI**	**16**
6.7	**BINARIO**	**16**
6.8	**SISTEMA DI ALIMENTAZIONE 750 V C.C.**	**16**
7.	**VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI TRAZIONE**	**18**
7.1	**SIMULAZIONI DI MARCIA**	**18**
7.1.1	TRENO METRO GENOVA III GEN. UDT+UDT, SOSTA 20''	18
7.2	**RISULTATO DELLE SIMULAZIONI DEL SISTEMA ELETTRICO DI TRAZIONE**	**20**
7.2.1	NORMALE ESERCIZIO: DISTANZIAMENTO TRENI A 5 MINUTI CON SOSTA PARI A 20''.	20
Correnti agli extrarapidi [A]		22
7.2.2	FUORI SERVIZIO SSE GUGLIELMETTI: DISTANZIAMENTO TRENI A 6 MINUTI CON SOSTA PARI A 20''.	23
7.2.3	FUORI SERVIZIO SSE MOLASSANA: DISTANZIAMENTO TRENI A 8 MINUTI CON SOSTA PARI A 20''.	24
8.	**VERIFICA DEL POTENZIALE DI BINARIO**	**26**
9.	**CALCOLO MINIMA CORRENTE DI CORTO CIRCUITO**	**26**
10.	**ALIMENTAZIONE DELLE SSE**	**28**
11.	**CONCLUSIONI**	**29**

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Orario di esercizio previsto nella casistica oggetto di analisi. 13
Figura 2. Composizione della UdT e ubicazione carrelli motori e portanti. 14
Figura 3. Caratteristica sforzo/velocità in trazione. 14
Figura 4. Formula di resistenza al moto e coefficienti di riferimento. 15
Figura 5. Sistema elettrico di linea ipotizzato. 17
Figura 6. Profilo di marcia potenza/velocità Treno UdT III Gen sosta 20''. 18
Figura 7. Orario di riferimento con sosta pari a 20'' e distanziamento treni pari a 5 minuti. 20
Figura 8. Orario di esercizio previsto nella casistica oggetto di analisi. 26

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	Profilo plano-altimetrico SkyMetro Genova previsto da progetto.	10
Tabella 2.	Fermate Intermedie treno.	13
Tabella 3.	Caratteristiche treno III Gen. (doppia UdT).	14
Tabella 4.	Informazioni marcia treno UdT III Gen. Sosta 20''	18
Tabella 5.	Risultati generali normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.	20
Tabella 6.	Tensioni minime normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.	21
Tabella 7.	Potenze erogate normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.	21
Tabella 8.	Risultati generali fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.	23
Tabella 9.	Tensioni minime fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.	23
Tabella 10.	Potenze erogate fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.	23
Tabella 11.	Risultati generali fuori servizio SSE Molassana, sosta 20'' e distanziamento 8'.	24
Tabella 12.	Tensioni minime fuori servizio SSE Molassana, sosta 20'' e distanziamento 8'.	25
Tabella 13.	Potenze erogate fuori servizio SSE Molassana, sosta 20'' e distanziamento 8'.	25
Tabella 14.	Potenze richieste lato MT	28

1. GENERALITA’

Nell’ambito del progetto relativo alla nuova Linea metropolitana SkyMetro, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il prolungamento della tratta metropolitana in Valbisagno, che si articola dalla stazione di Brignole fino alla nuova stazione di Molassana (e successivo tronchino).

La presente relazione illustra i risultati dell’analisi di dimensionamento delle installazioni fisse di trazione elettrica destinate all’alimentazione della tratta oggetto di studio.

Sulla base del carico costituito dal traffico metropolitano viene verificata la potenzialità del sistema elettrico proposto in condizione di normale servizio di tutte le SSE. Sarà inoltre considerato il caso di fuori servizio degli impianti.

L’analisi è stata realizzata tramite programmi dedicati che eseguono le simulazioni di marcia dei treni e forniscono le prestazioni di sistema quali la qualità della tensione al pantografo e il carico della linea e delle apparecchiature di sottostazione. I risultati delle simulazioni vengono confrontati con i valori limite previsti dalle normative di riferimento, al fine di verificarne il rispetto.

2. NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti Normativi

Le norme di riferimento alla base di questa analisi sono quelle che definiscono la qualità della tensione al pantografo:

1. **EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Linee aeree di contatto per trazione elettrica
2. **EN 50163** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione
3. **EN 50163/A1** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione
4. **EN 50388** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Alimentazione elettrica e materiale rotabile Criteri tecnici per il coordinamento tra l'alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità
5. **EN 50318** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Sistemi di captazione della corrente Convalida della simulazione dell'interazione dinamica tra pantografo e linea aerea di contatto

5.1 Riferimenti Progettuali

Di seguito sono indicati i riferimenti progettuali ai quali si farà implicito/esplicito riferimento nel presente studio:

- EC01P009038B 01– Caratteristica sforzo e frenatura treni di terza generazione;
- MGE1PRLVTRCCOMT005A - Profilo altimetrico tracciato;
- MGE1PRLVTRCCOMT004A- planimetria del tracciato
- MGE1PRLVESECOMK001A - Schematico di esercizio;
- MGE1PRLVLDCCOMK00100A – Schema TE.

6. DATI DI INPUT

6.1 Caratteristica Del Tracciato

La tratta, che si sviluppa dalla stazione di Brignole al nuovo capolinea Molassana, ha una lunghezza pari a circa 6,8 km e presenta una livelletta massima pari a +33,647 ‰ e una livelletta minima pari a 0 ‰ come rappresentato nella tabella seguente:

Tabella 1.Profilo plano-altimetrico SkyMetro Genova previsto da progetto.

PROGRESSIVA INIZIALE [m]	PROGRESSIVA FINALE [m]	PENDENZA [‰]	RAGGIO CURVATURA [m]
0	36	1,047	0
36	165	33,647	52
165	198	33,647	0
198	240	6,703	0
240	326	6,703	52
326	390	6,703	90
390	448	6,703	0
448	612	6,703	340
612	665	6,703	0
665	776	6,703	450
776	815	6,703	0
815	895	6,703	215
895	973	1,8	215
973	1066	1,8	0
1066	1126	1,8	0
1126	1183	4,359	0
1183	1253	4,359	150
1253	1400	4,359	150
1400	1540	4,359	300

PROGRESSIVA INIZIALE [m]	PROGRESSIVA FINALE [m]	PENDENZA [‰]	RAGGIO CURVATURA [m]
1540	1565	4,359	0
1565	1640	4,359	300
1640	1721	15,011	300
1721	1845	15,011	0
1845	1910	15,011	270
1910	1979	2	270
1979	2109	2	0
2109	2276	2	0
2276	2328	16,135	0
2328	2501	16,135	292
2501	2715	2	292
2715	2830	2	0
2830	2868	2	0
2868	3010	2	700
3010	3308	10	700
3308	3580	10	0
3580	3648	10	400
3648	3748	10	300
3748	3800	10	0
3800	4091	10	745
4091	4147	0,1	745
4147	4262	0,1	0
4262	4391	0,1	0

PROGRESSIVA INIZIALE [m]	PROGRESSIVA FINALE [m]	PENDENZA [‰]	RAGGIO CURVATURA [m]
4391	4453	0,1	900
4453	4514	10,017	900
4514	4552	10,017	0
4552	4721	10,017	950
4721	4774	10,017	0
4774	4922	10,017	950
4922	4986	10,017	0
4986	5060	10,017	600
5060	5135	0	600
5135	5279	0	0
5279	5407	0	0
5407	5471	0	500
5471	5525	14,42	500
5525	5630	14,42	350
5630	5684	14,42	0
5684	5799	14,42	300
5799	5922	14,42	300
5922	6065	14,42	0
6065	6382	14,42	950
6382	6560	2	950
6560	6680	2	0
6680	6822	2	0
6822	6875	2	400

6.2 Ipotesi Di Traffico

Il modello di esercizio implementato nel software di calcolo e previsto a seguito dell'attivazione, è basato considerando un'ora di punta (critica dal punto di vista elettrico).

In particolare, l'ora di punta ipotizza un complessivo di 6 treni in tratta, con un distanziamento di marcia pari a 5 minuti per senso di percorrenza.

Nella figura sottostante è riportato il dettaglio dell'orario simulato legato alla tipologia di materiale rotabile:

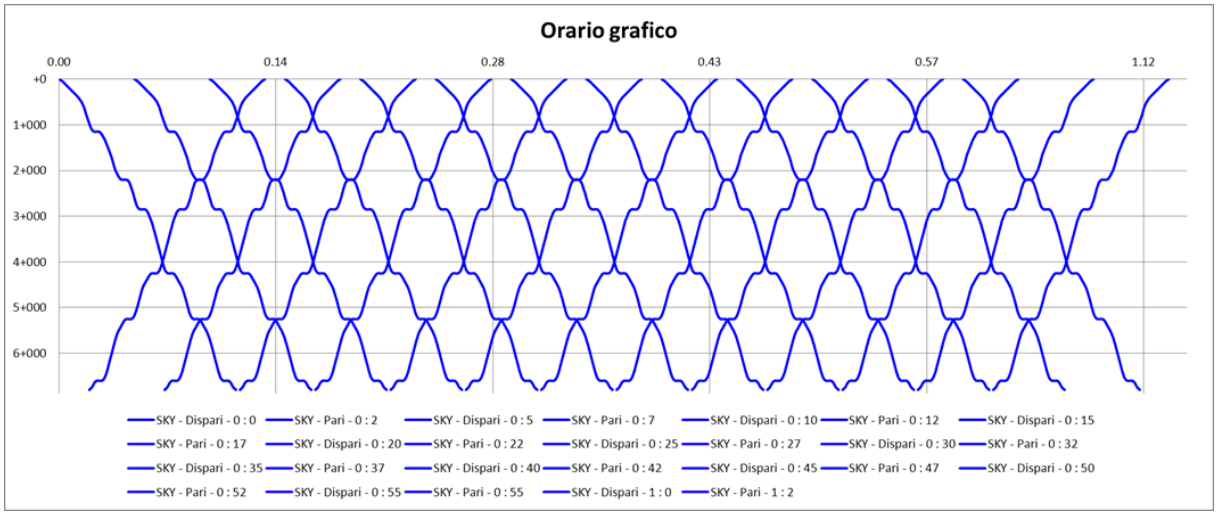


Figura 1. Orario di esercizio previsto nella casistica oggetto di analisi.

Per i treni presi a riferimento per l'esercizio, si indicano inoltre le fermate intermedie presenti nella tratta riferite alla progressiva di progetto:

Tabella 2.Fermate Intermedie treno.

STAZIONE	PROGRESSIVA [km]	TEMPO SOSTA [s]
Brignole	0+000	20
Romagnosi	1+066	20
Parenzo	2+109	20
Staglieno	2+830	20
Guglielmetti	4+262	20
San Gottardo	5+279	20
Molassana	6+680	20

6.3 Tipologia Di Materiale Rotabile

Sulla base del modello di esercizio, descritto nel paragrafo precedente, di seguito si riportano le categorie e i parametri caratteristici del materiale rotabile utilizzati nelle simulazioni. In particolare, per le simulazioni effettuate sono stati utilizzati i veicoli Metro Genova di terza generazione, in regime di doppia composizione, di cui si riportano le caratteristiche di seguito.

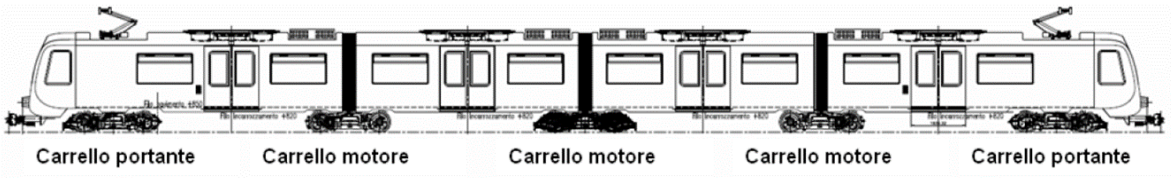


Figura 2. Composizione della UdT e ubicazione carrelli motori e portanti.

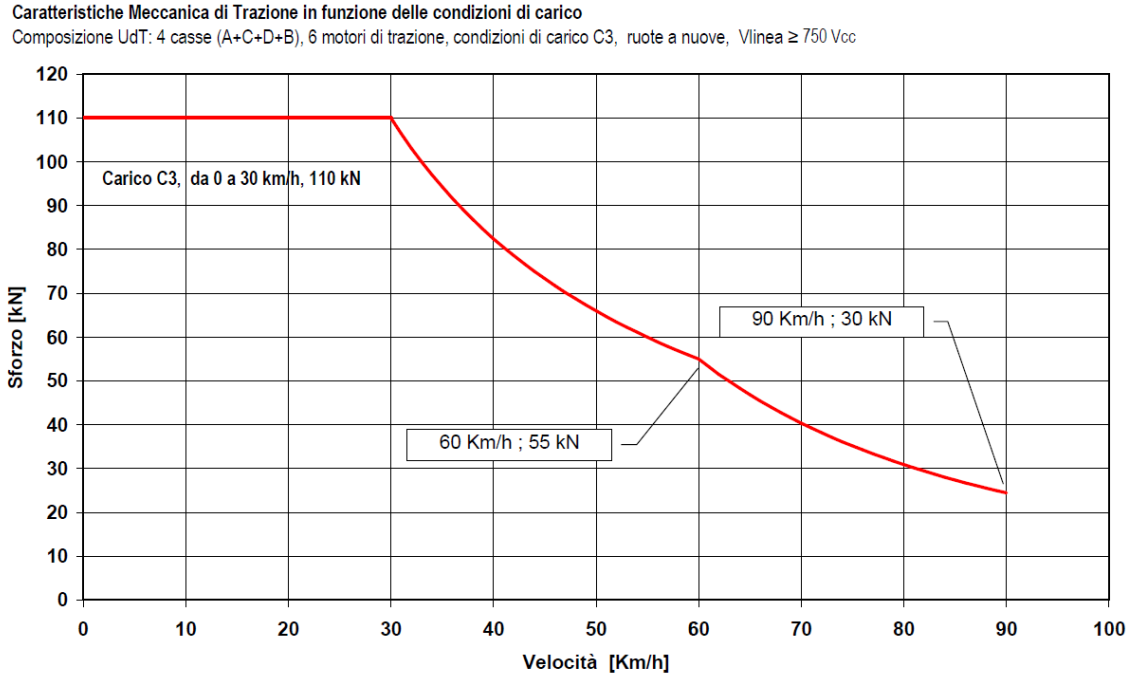


Figura 3. Caratteristica sforzo/velocità in trazione.

La definizione degli sforzi di trazione e frenatura e le simulazioni della marcia sulle tratte di Metro Genova sono state condotte tenendo in considerazione la resistenza al moto della UdT. Nella seguente tabella sono riportati alcuni valori di riferimento relativi al convoglio in questione.

Tabella 3.Caratteristiche treno III Gen. (doppia UdT).

CARATTERISTICHE	VALORI
Velocità di impostazione	80 km/h
Tensione nominale	750 V
Potenza oraria	1,85 MW
Potenza Ausiliari	250 kW
Massa complessiva	190 t
Rendimento Locomotiva	0,85
Coefficiente di inerzia masse rotanti	1,05
Decelerazione costante di frenatura in piano	1 m/s²

La resistenza al moto è calcolata con la seguente formula:

$$R = M * 9{,}81 * (p + A + \frac{v^2}{B}) + \frac{9{,}81 * M * C}{r}$$

A [N/t]	2,5
B [t*(km/h)²/N]	850
C [N*m/t]	500

Figura 4. Formula di resistenza al moto e coefficienti di riferimento.

6.4 Input di esercizio

Nel seguente paragrafo sarà riportata la sintesi dei dati tecnici generali dell'intervento che sono stati utilizzati per le simulazioni elettriche di dimensionamento:

- Lunghezza del tracciato pari a 6,8 km, comprensivi di tronchino;
- Numero di stazioni: fare riferimento alla Tabella 2;
- Tempo di sosta nelle varie stazioni: 20'';
- Lunghezza della singola UdT di terza generazione: 40m;
- Lunghezza del convoglio: 80m (2 UdT di terza generazione o 3 UdT di prima o seconda generazione);
- Capacità del singolo treno: 442 passeggeri;
- Totale tempo di percorrenza della tratta Brignole – Molassana: 12m;
- Velocità commerciale: 35 km/h;
- Velocità massima: 75 km/h;
- Frequenza: 5 minuti nell'ora di punta.

Si osserva che, nonostante i dati di input forniti dalla committenza prevedano l'utilizzo di treni di prima o seconda generazione, al fine di rendere le simulazioni maggiormente conservative è stato ipotizzato l'utilizzo di treni esclusivamente di terza generazione.

6.5 Linea di contatto

La linea di contatto sarà realizzata con catenaria rigida (sezione di circa 1330 mm^2 rame equivalente), ed è stata considerata un'usura del 20%.

Temperatura ambiente considerata: 40°C

6.6 Alimentatori

Come alimentatori positivi sono stati considerati conduttori in rame 5x1x500mmq per ciascun interruttore extrarapido, con una lunghezza di 300m.

Come alimentatori negativi sono stati considerati conduttori in rame 6x1x500mmq per ciascun binario, con una lunghezza di 300m.

6.7 Binario

Il binario è formato da rotaie UNI 50, con peso equivalente pari a 50 kg/m. La resistenza equivalente di ciascun binario è perciò valutata essere pari a 18 mΩ/km.

6.8 Sistema di alimentazione 750 V c.c.

Al fine di realizzare la verifica del sistema elettrico di alimentazione, è stata analizzata la rete a 750V rappresentata nella figura sottostante.

Nel dettaglio, la linea in esame, oggetto di intervento, prevede i seguenti impianti:

- SSE esistente di Brignole;
- Nuova SSE Guglielmetti;
- Nuova SSE Molassana.

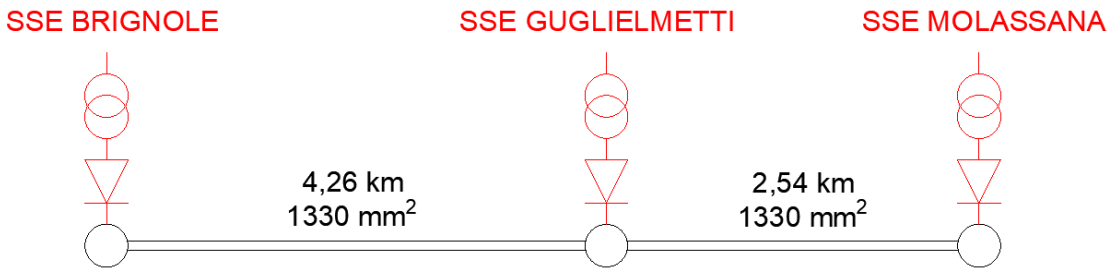


Figura 5. Sistema elettrico di linea ipotizzato.

Le tre sottostazioni elettriche presenti sull'impianto sono ubicate in corrispondenza delle stazioni di Brignole, Guglielmetti e Molassana. Ognuna di esse risulta equipaggiata con tre gruppi trasformatori-raddrizzatori, di cui due sempre in erogazione ed uno in riserva "calda", pronto ad essere inserito in sostituzione di uno degli altri due nell'eventualità che si verifichi qualsiasi problema.

Le principali caratteristiche elettriche di ciascun raddrizzatore sono le seguenti:

- potenza nominale 1500 kW
- corrente nominale (c.c.) 2000 A
- classe di sovraccarico classe VI CEI EN60146

7. VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI TRAZIONE

7.1 Simulazioni Di Marcia

Nell'ambito dello studio di dimensionamento, sono state condotte simulazioni di marcia al fine di determinare l'andamento della velocità e i relativi consumi di potenza per il materiale rotabile preso in esame, considerando entrambi i sensi di percorrenza nella tratta oggetto di analisi. Si presenta di seguito simulazione di marcia relativa a treno di terza generazione in doppia composizione, con un tempo di sosta nelle varie stazioni intermedie pari a 20''.

7.1.1 Treno Metro Genova III gen. UdT+UdT, sosta 20''

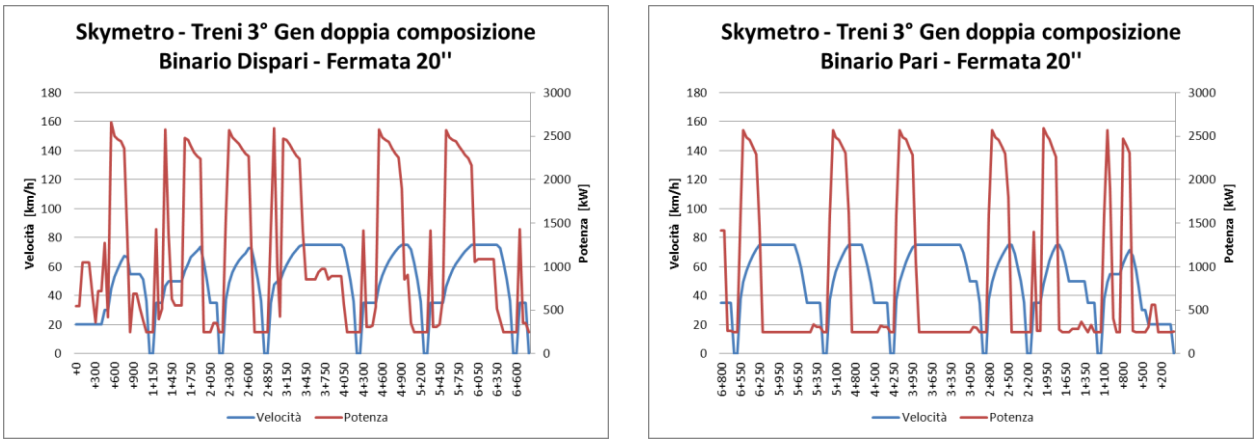


Figura 6. Profilo di marcia potenza/velocità Treno UdT III Gen sosta 20''.

La seguente tabella riassume inoltre le principali grandezze risultanti dalle simulazioni per entrambi i sensi di marcia.

Tabella 4.Informazioni marcia treno UdT III Gen. Sosta 20''

	BR - MO	MO - BR
Tempi di percorrenza (hh:mm:ss)	11' 44''	11' 39''
Energia totale assorbita [kWh]	181,4	136,81
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	26,67	20,11
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/kt.km]	140,4	105,89
Potenza media per treno [kW]	927,44	703,94
Velocità media [km/h]	34,766	34,989

7.2 Risultato delle simulazioni del sistema elettrico di trazione

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati delle simulazioni elettriche effettuate relativamente allo schema di alimentazione proposto nel capitolo 6.8. Nel dettaglio saranno analizzati i diversi scenari di esercizio che prevedono sia il sistema di trazione elettrica in funzionamento di normale servizio (tutte le SSE in servizio), sia il funzionamento in caso di fuori servizio delle varie SSE in tratta.

7.2.1 Normale Esercizio: distanziamento treni a 5 minuti con sosta pari a 20''.

Nelle tabelle di seguito sono riportati i risultati globali delle simulazioni relativi al carico del sistema elettrico, in condizione di normale servizio di tutte le SSE ed i valori significativi di tensione al pantografo per entrambi i sensi di marcia (Limite normativo Vmin=500 V). Il traffico proposto prevede un distanziamento treno pari a 5 minuti, con una sosta in ogni fermata intermedia pari a 20''. L'orario di riferimento è riportato nella figura sottostante.

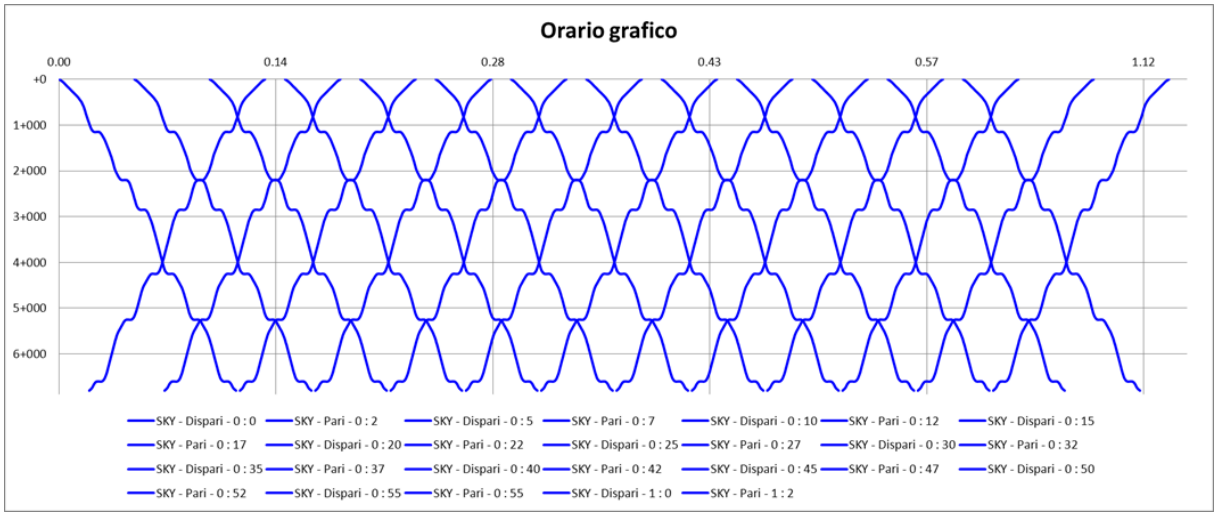


Figura 7. Orario di riferimento con sosta pari a 20'' e distanziamento treni pari a 5 minuti.

I risultati della simulazione effettuata sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 5.Risultati generali normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.

RISULTATI GENERALI		
Potenza media fornita da tutte le SSE (kW)		4043
Potenza massima fornita da tutte le SSE (kW)		10806
Potenza media fornita dalla linea di contatto(kW)		3789
Potenza massima fornita dalla linea di contatto(kW)		9335
Rendimento medio della linea di contatto(%)		93,72
	SSE Brignole	5974

RISULTATI GENERALI		
Corrente erogata massima [A]	SSE Guglielmetti	7133
	SSE Molassana	4952

Tabella 6.Tensioni minime normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.

TENSIONI IN TRATTA		
Tensione minima [V]	Dispari (Br-Mo)	541
	Pari (Mo-Br)	536

Come mostrato dai risultati presenti in tabella, le minime tensioni registrate al pantografo della linea oggetto di studio sono compatibili con le tensioni minime previste da normativa per lo scenario ipotizzato.

Di seguito si riportano i dati delle potenze assorbite in ogni SSE.

Tabella 7.Potenze erogate normale esercizio, sosta 20'' e distanziamento 5'.

POTENZE EROGATE		
Potenza media quadratica erogata [MW]	SSE Brignole	1372
	SSE Guglielmetti	1990
	SSE Molassana	1251
Massima potenza media erogata in 5' [MW]	SSE Brignole	1247
	SSE Guglielmetti	1971
	SSE Molassana	1147
Potenza massima erogata (istantanea)[MW]	SSE Brignole	4540
	SSE Guglielmetti	5670
	SSE Molassana	3936

In questo scenario le potenze medie quadratiche assorbite in SSE sono sempre inferiori alle potenze nominali di SSE, considerando due gruppi contemporaneamente in servizio.

Per quel che riguarda le sovratemperature la Norma CEI EN 50119 riporta come limite di temperatura per il rame quello di 80°C per il regime permanente e 120°C per un tempo massimo di 30 minuti (a pantografo fermo). I valori di temperatura sulla linea di contatto rientrano sempre al di sotto del primo limite normativo. Infatti, la sovratemperatura massima registrata è pari a circa 2,8 °C e si verifica sulla corda in uscita dall'alimentatore posteriore pari della SSE Guglielmetti.

Correnti agli extrarapidi [A]

corrente media [A]			
	SSE BRINGOLE	**SSE GUGLIELMETTI**	**SSE MOLASSANA**
Dispari SX	0	1022	727
Pari SX	0	921	724
Dispari DX	1033	770	xxx
Pari DX	638	421	xxx

corrente max [A]			
	SSE BRINGOLE	SSE GUGLIELMETTI	SSE MOLASSANA
Dispari SX	33	3252	2628
Pari SX	0	3864	3124
Dispari DX	3390	2922	xxx
Pari DX	3145	2205	xxx

7.2.2 Fuori Servizio SSE Guglielmetti: distanziamento treni a 6 minuti con sosta pari a 20''.

Nelle tabelle di seguito sono riportati i risultati globali delle simulazioni relativi al carico del sistema elettrico, in condizione di fuori servizio della SSE Guglielmetti ed i valori significativi di tensione al pantografo per entrambi i sensi di marcia (Limite normativo Vmin=500 V). Il traffico proposto prevede un distanziamento treno pari a 6 minuti, con una sosta in ogni fermata intermedia pari a 20''. Al fine di garantire il traffico in situazione di fuori servizio, è stata considerata una limitazione in corrente dell'intero convoglio. La soglia massima di corrente assorbibile considerata è pari a 2000 A (con tale limitazione, si attestano 20 secondi in più sui tempi di percorrenza).

I risultati della simulazione effettuata sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 8.Risultati generali fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.

RISULTATI GENERALI		
Potenza media fornita da tutte le SSE (kW)		3283
Potenza massima fornita da tutte le SSE (kW)		6549
Potenza media fornita dalla linea di contatto(kW)		2992
Potenza massima fornita dalla linea di contatto(kW)		5679
Rendimento medio della linea di contatto(%)		91,14
Corrente erogata massima [A]	SSE Brignole	4431
	SSE Guglielmetti	--
	SSE Molassana	5954

Tabella 9.Tensioni minime fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.

TENSIONI IN TRATTA		
Tensione minima [V]	Dispari (Br-Mo)	555
	Pari (Mo-Br)	536

Come mostrato dai risultati presenti in tabella, le minime tensioni registrate al pantografo della linea oggetto di studio sono compatibili con le tensioni minime previste da normativa per lo scenario ipotizzato.

Di seguito si riportano i dati delle potenze assorbite in ogni SSE.

Tabella 10. Potenze erogate fuori servizio SSE Guglielmetti, sosta 20'' e distanziamento 6'.

POTENZE EROGATE		
Potenza media quadratica erogata [MW]	SSE Brignole	1588
	SSE Guglielmetti	--
	SSE Molassana	1935
Massima potenza media erogata in 6’ [MW]	SSE Brignole	1572
	SSE Guglielmetti	--
	SSE Molassana	1970
Potenza massima erogata (istantanea)[MW]	SSE Brignole	3367
	SSE Guglielmetti	--
	SSE Molassana	4733

In questo scenario le potenze medie quadratiche assorbite in SSE sono sempre inferiori alle potenze nominali di SSE, considerando due gruppi contemporaneamente in servizio.

Per quel che riguarda le sovratemperature la Norma CEI EN 50119 riporta come limite di temperatura per il rame quello di 80°C per il regime permanente e 120°C per un tempo massimo di 30 minuti (a pantografo fermo). I valori di temperatura sulla linea di contatto rientrano sempre al di sotto del primo limite normativo. Infatti, la sovratemperatura massima registrata è pari a circa 2,96 °C e si verifica sulla corda in uscita dall’alimentatore posteriore dispari della SSE Molassana.

7.2.3 Fuori Servizio SSE Molassana: distanziamento treni a 8 minuti con sosta pari a 20’’.

Nelle tabelle di seguito sono riportati i risultati globali delle simulazioni relativi al carico del sistema elettrico, in condizione di fuori servizio della SSE Molassana ed i valori significativi di tensione al pantografo per entrambi i sensi di marcia (Limite normativo Vmin=500 V). Il traffico proposto prevede un distanziamento treno pari a 8 minuti, con una sosta in ogni fermata intermedia pari a 20’’. Al fine di garantire il traffico in situazione di fuori servizio, è stata considerata una limitazione in corrente dell’intero convoglio. La soglia massima di corrente assorbibile considerata è pari a 2000 A (con tale limitazione, si attestano 20 secondi in più sui tempi di percorrenza).

I risultati della simulazione effettuata sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 11. Risultati generali fuori servizio SSE Molassana, sosta 20’’ e distanziamento 8’.

RISULTATI GENERALI	
Potenza media fornita da tutte le SSE (kW)	2379
Potenza massima fornita da tutte le SSE (kW)	5449
Potenza media fornita dalla linea di contatto(kW)	2246

RISULTATI GENERALI		
Potenza massima fornita dalla linea di contatto(kW)		4822
Rendimento medio della linea di contatto(%)		94,41
Corrente erogata massima [A]	SSE Brignole	3309
	SSE Guglielmetti	5491
	SSE Molassana	--

Tabella 12. Tensioni minime fuori servizio SSE Molassana, sosta 20'' e distanziamento 8'.

TENSIONI IN TRATTA		
Tensione minima [V]	Dispari (Br-Mo)	524
	Pari (Mo-Br)	521

Come mostrato dai risultati presenti in tabella, le minime tensioni registrate al pantografo della linea oggetto di studio sono compatibili con le tensioni minime previste da normativa per lo scenario ipotizzato.

Di seguito si riportano i dati delle potenze assorbite in ogni SSE.

Tabella 13. Potenze erogate fuori servizio SSE Molassana, sosta 20'' e distanziamento 8'.

POTENZE EROGATE		
Potenza media quadratica erogata [MW]	SSE Brignole	805
	SSE Guglielmetti	1839
	SSE Molassana	--
Massima potenza media erogata in 8' [MW]	SSE Brignole	714
	SSE Guglielmetti	1841
	SSE Molassana	--
Potenza massima erogata (istantanea)[MW]	SSE Brignole	2514
	SSE Guglielmetti	4365
	SSE Molassana	--

In questo scenario le potenze medie quadratiche assorbite in SSE sono sempre inferiori alle potenze nominali di SSE, considerando due gruppi contemporaneamente in servizio.

Per quel che riguarda le sovratemperature la Norma CEI EN 50119 riporta come limite di temperatura per il rame quello di 80°C per il regime permanente e 120°C per un tempo massimo di 30 minuti (a pantografo fermo). I valori di temperatura sulla linea di contatto rientrano sempre al di sotto del primo limite normativo. Infatti, la sovratemperatura massima registrata è pari a circa 1,25°C e si verifica sulla corda in uscita dall'alimentatore anteriore dispari della SSE Guglielmetti.

8. VERIFICA DEL POTENZIALE DI BINARIO

La progettazione del circuito di ritorno deve essere effettuata conformemente alle prescrizioni della norma EN 50122-1. Ai fini della sicurezza per le persone, la norma prescrive che la massima tensione effettiva di contatto a regime permanente nel corpo umano è pari a 120V nei sistemi a corrente continua. Pertanto, ne consegue che il circuito di ritorno deve essere progettato con l'obiettivo di ottenere un potenziale di rotaia inferiore a questo valore.

Prendendo in considerazione una situazione critica in cui due treni si trovano nella medesima sezione di tratta (molto vicini tra loro, distanziati a meno di 200m) e altri due treni relativamente vicini (a circa 600m di distanza). Per ogni treno, è stato considerato l'assorbimento della piena corrente di spunto in doppia composizione. Per tale ipotesi conservativa, è risultato un potenziale di binario pari a 86 V, inferiori al limite massimo previsto dalla norma che imposta il limite massimo pari a 120 V.

9. CALCOLO MINIMA CORRENTE DI CORTO CIRCUITO

Per quanto riguarda il calcolo della corrente di corto-circuito minima di tratta, si è considerato il seguente caso (critico) di corto-circuito linea e binario:

- corto circuito in corrispondenza della SSE Guglielmetti con SSE Guglielmetti 'aperta';
- corto circuito alimentato a sbalzo dalla SSE Brignole (tratta alimentata di 4,2 km);

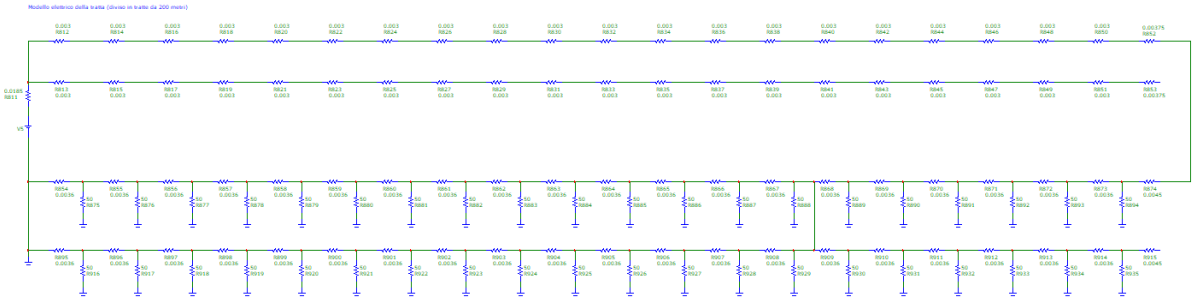


Figura 8. Orario di esercizio previsto nella casistica oggetto di analisi.

La corrente di corto circuito risulta pari a 5700 A. Considerando che la massima corrente vista da un interruttore extrarapido è di 3864 A, si ritiene che con una corretta taratura degli extrarapidi si ottenga una protezione adeguata dal corto circuito. Per una ulteriore sicurezza di individuazione del guasto, si

prevederanno degli RV (rilevatori di tensione) in corrispondenza di metà tratta tra le SSE (sia tra Brignole e Guglielmetti che tra Guglielmetti e Molassana).

10. ALIMENTAZIONE DELLE SSE

Per entrambe le nuove SSE di Guglielmetti e Molassana verrà fatta richiesta di connessione alla rete MT del distributore, e ciascuna di esse sarà alimentata da una linea in antenna. Sarebbe preferibile che le due SSE venissero alimentate da linee derivate da fonti indipendenti. In ciascuna SSE sarà previsto un locale distributore e un locale misure per la gestione della linea MT di alimentazione secondo quanto previsto dalla CEI 0-16.

Al fine di migliorare la continuità del servizio e l'affidabilità del sistema, si prevede una connessione MT tra le SSE Guglielmetti e Molassana: questa connessione rappresenta un'alimentazione di soccorso per ciascuna SSE. In caso di fuori servizio dell'alimentazione del distributore in una delle SSE, l'altra SSE potrà rialimentare la SSE 'guasta' tramite questa connessione (*vedi MGE1PRLVLFMSTZK002A*).

Considerando i risultati dello studio di dimensionamento della trazione elettrica, l'analisi dei carichi delle stazioni e l'architettura della rete MT, le potenze di connessione stimate per le 3 SSE saranno orientativamente:

	Potenza richiesta lato MT [kW]
Alimentazione MT SSE Brignole (*)	**3500/4000**
Alimentazione MT SSE Guglielmetti	**8000/8500**
Alimentazione MT SSE Molassana	**8000/8500**

Tabella 14. Potenze richieste lato MT

(*) la potenza indicata fa riferimento alla potenza richiesta dal sistema SkyMetro, questo valore non è da sommarsi in maniera algebrica a quanto si prevede che la SSE richieda per le altre tratte (esistenti e future) in quanto occorre tenere conto dei fattori di contemporaneità dei carichi massimi e della distribuzione dei flussi distribuiti sulle direttrici Canepari – Molassana – Martinez. Considerando che la SSE Brignole è attualmente in esercizio, che alimenta la tratta esistente e che alimenterà le future estensioni verso Canepari e Martinez, la definizione della potenza da richiedere all'ente distributore necessita di una valutazione integrata, che contempli l'intera linea nella finale configurazione (da Canepari a Martinez, con la 'derivazione' SkyMetro) e nel definitivo scenario di esercizio.

Nel caso in cui l'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici fosse maggiore di quella richiesta dai carichi delle stazioni, il surplus di energia potrà essere utilizzato per l'alimentazione dei treni. Se non ci saranno treni pronti a ricevere questa energia, ci sarà immissione di energia nella rete del distributore (vedi *MGE1PRLVIELCOMR001-00_A).*

Per quanto riguarda il tema dell'alimentazione delle SSE, si prevede di stabilire tavolo tecnico con l'ente distributore per concordare la soluzione definitiva, in base alle condizioni della rete, del territorio e dei piani di sviluppo della rete.

11. CONCLUSIONI

Nel normale esercizio (tutte le SSE sono in funzione), l'architettura del sistema di trazione elettrica proposta si dimostra idonea a sostenere lo scenario di traffico desiderato (cadenzamento 5 minuti, tempo fermata 20sec, treni di terza generazione in doppia composizione, tempi di percorrenza entro 12 minuti). In questo scenario di esercizio la tensione minima risulta al di sopra dei limiti normativi imposti dalla EN 50163 (con un certo margine) e le potenze erogate dalle SSE rientrano nei limiti imposti (2 gruppi di conversione da 1500 kW).

Nel caso invece di fuori servizio di una SSE, per rientrare nei limiti imposti dalla EN 50163, sono necessarie delle limitazioni allo scenario di traffico, ovvero:

1. fuori servizio SSE Guglielmetti:
    a. distanziamento dei treni aumentato da 5 a 6 minuti;
    b. limitazione in corrente per il treno a doppia composizione a 2000 A (che si traduce in un aumento del tempo di percorrenza di 20 secondi);
2. fuori servizio SSE Molassana:
    a. distanziamento dei treni aumentato da 5 a 8 minuti;
    b. limitazione in corrente per il treno a doppia composizione a 2000 A (che si traduce in un aumento del tempo di percorrenza di 20 secondi);