

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE
DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

U.O. ENERGIA E IMPIANTI DI TRAZIONE ELETTRICA

PROGETTO PRELIMINARE

LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

SOTTOSTAZIONI E CABINE TE

**ELABORATI GENERALI
STUDIO DI VERIFICA PRESTAZIONALE**

SCALA:

-

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

I N 0 9 1 0 R 1 8 S D T E 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	S. Acunzo <i>S. Acunzo</i>	Settembre 2014	N. Carones <i>N. Carones</i>	Settembre 2014	S. Borelli <i>S. Borelli</i>	Settembre 2014	G. GUIDI BUFFARINI Settembre 2014

Stampa autorizzativa con firma e dati di G. GUIDI BUFFARINI, ingegnere della Provincia di Roma, n. 47812. Logo di RFR S.p.A. - Impianti T.E.

File: IN0910R18SDTE0000001A.doc

n. Elab.:

Sommario

1. Generalità.....	3
2. Norme e documenti di riferimento	4
2.1 Riferimenti normativi	4
2.2 Riferimenti progettuali.....	5
3. Dati di base	6
3.1 Caratteristiche del tracciato	6
3.2 Ipotesi di traffico	6
3.3 Caratteristiche del materiale rotabile.....	7
4. Architettura del sistema elettrico.....	8
5. Risultati delle simulazioni di marcia.....	10
6. Verifica del sistema elettrico di alimentazione	11
6.1 Sistema di alimentazione a 3 kV cc	11
6.2 Risultati delle simulazioni di sistema.....	12
6.2.1 Servizio Normale.....	12
6.2.2 Servizio degradato funzionamento con un gruppo in SSE Verona Ovest	14
6.2.3 Servizio degradato con SSE di Verona Ovest fuori servizio.....	17
6.2.4 Servizio degradato con SSE di Sona fuori servizio	19
7. Conclusioni.....	21
8. Allegato A : modello di esercizio	22
9. Allegato B : rete elettrica 3 kVcc Nodo di Verona	23

1. Generalità

La presente relazione tecnica illustra i risultati dell'analisi di dimensionamento delle installazioni fisse di trazione elettrica destinate all'alimentazione di un tratto della futura Linea ferroviaria AV Milano – Venezia. Il tratto in esame rispondente alla prima fase del progetto è caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 12,4 km (dal P.O.C. 25 kV/3 kV posto alla pk 134+300 fino alla Cabina di Trazione Elettrica (CTE) Verona Est sita alla pk 146+700).

Sulla base del carico elettrico, costituito dal traffico ferroviario, è stata dimensionata/analizzata l'architettura del sistema di alimentazione finalizzata all'elettrificazione delle Linee.

A seguito dell'ottimizzazione della configurazione elettrica viene presentata l'analisi che prevede:

- la condizione di normale servizio di tutte le sottostazioni elettriche di trazione (SSE);
- la condizione di parziale/completo degrado della SSE di Verona Ovest e di Sona.

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

Lo studio di dimensionamento è stato realizzato tramite programmi dedicati che eseguono le simulazioni di marcia dei treni fornendo le seguenti prestazioni del sistema:

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

2. Norme e documenti di riferimento

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Nel seguito è riportato l'elenco delle norme d'interesse per l'analisi del dimensionamento del sistema elettrico alle quali si rimanda per le informazioni di dettaglio non esplicitamente riportate nella presente relazione:

- EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Impianti fissi
Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
Edizione 2010;
- EN 50163** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione;
Edizione 2006;
- EN 50163/A1** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione;
Edizione 2008;
- 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;
Edizione 2012;
- 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;
Edizione 2003;
- 2008/284/CE** Specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema Energia del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.
- 96/48/CE** Direttiva del consiglio europeo del 23 luglio 1996 relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario ad alta velocità.

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

Di seguito si riportano i documenti di progetto alla base della seguente analisi:

Profilo Piano Altimetrico L28100R26F5CS0000001B;

L28100R26F5CS0000002A;

Fascicolo Linea n°43 Linee: BOLZANO – VERONA
VERONA – POGGIO RUSCO
Ed. Dicembre 2003

Fascicolo Linea n°46 Linea: BRESCIA VICENZA
Ed. Dicembre 2003

Fascicolo Linea n°48 Linee: VERONA – MODENA
ISOLA DELLA SCALA – ROVIGO
MANTOVA – MONSELICE;
Ed. Dicembre 2003

3. Dati di base

3.1 CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO

Alla base del presente studio vi è l'implementazione del profilo plano-altimetrico della linea completo delle informazioni relative alle velocità massime di tracciato e dei tratti in galleria.

3.2 IPOTESI DI TRAFFICO

Il dimensionamento degli impianti fissi di trazione elettrica, con riferimento alle specifiche di base AV, è fondato sul Modello di Esercizio che costituisce il carico elettrico alla base della simulazione.

In analogia a tutte le altre tratte AV/AC Nazionali, il traffico che si è andati a considerare risulta essere formato da soli treni passeggeri con materiale rotabile costituito da ETR 500 (cadenzamento, di ogni treno, pari a 5 minuti).

Ai fini di effettuare il corretto dimensionamento degli impianti fissi di trazione è stata assunta l'ipotesi di previsione che dà il massimo carico (critica dal punto di vista elettrico).

Per tener conto che le SSE erogano corrente ad altre linee, è stato assunto, come valore delle tensioni a vuoto, un valore di tensione inferiore a quello massimo previsto dalla normativa (3600V permanenti) e che è risultato dall'implementazione, nel software di calcolo computerizzato ALIN, dell'intero nodo di Verona. Il modello di esercizio preso a riferimento è riportato nell'allegato A (Figura 6) in calce al documento.

3.3 CARATTERISTICHE DEL MATERIALE ROTABILE

Il traffico ferroviario implementato nel programma di calcolo è costituito da soli ETR 500.

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche del materiale rotabile impiegato:

Caratteristiche del materiale rotabile impiegato	
Categoria treno	LP
Tipo di treno	ETR 500
Velocità d'impostazione	180 km/h
Tensione nominale linea	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	400 kW
Massa Complessiva	690 t
Rendimento Locomotiva	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05
Decelerazione costante in piano	0,5 m/s ²

Tabella 1 - Caratteristiche del materiale rotabile

4. Architettura del sistema elettrico

Sulla base dei risultati preliminari delle simulazioni effettuate, è stata ricavata l'architettura elettrica tramite l'ottimizzazione delle configurazioni di sistema. In particolare l'architettura finale prevede i seguenti impianti:

- SSE di Verona Ovest - N.3 Gr. 5,4 MW;
- SSE di Sona - N.3 Gr. 5,4 MW;
- Cabina TE di Verona Est.

Per la SSE di Verona Ovest è stata prevista l'installazione di tre gruppi da 5,4 MW in quanto se avesse due gruppi, in caso di fuori servizio di uno di questi, il carico risulterebbe eccessivo con conseguente criticità del sistema.

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

	Singolo Gruppo da 5,4 MW
Potenza nominale [kVA]	5750/2x2875
Potenza nominale [kW]	5400
Caratteristiche di sovraccarico "Potenza"	200% Pn per 2h 233% Pn per 5'
Tensione nominale [V]	3600
Corrente nominale [A]	1500
Corrente Ammissibile per 2h [A]	3000
Resistenza int. equivalente [Ω]	0,2

Tabella 2 - Caratteristiche elettriche apparecchiature di SSE

La sezione prevista delle condutture di contatto sarà di 540 mm². Tale dimensionamento è necessario ai fini di garantire adeguate prestazioni al sistema anche in caso di servizio degradato.

In Figura 1 è riportato lo schema di alimentazione semplificato implementato nel software di alimentazione.

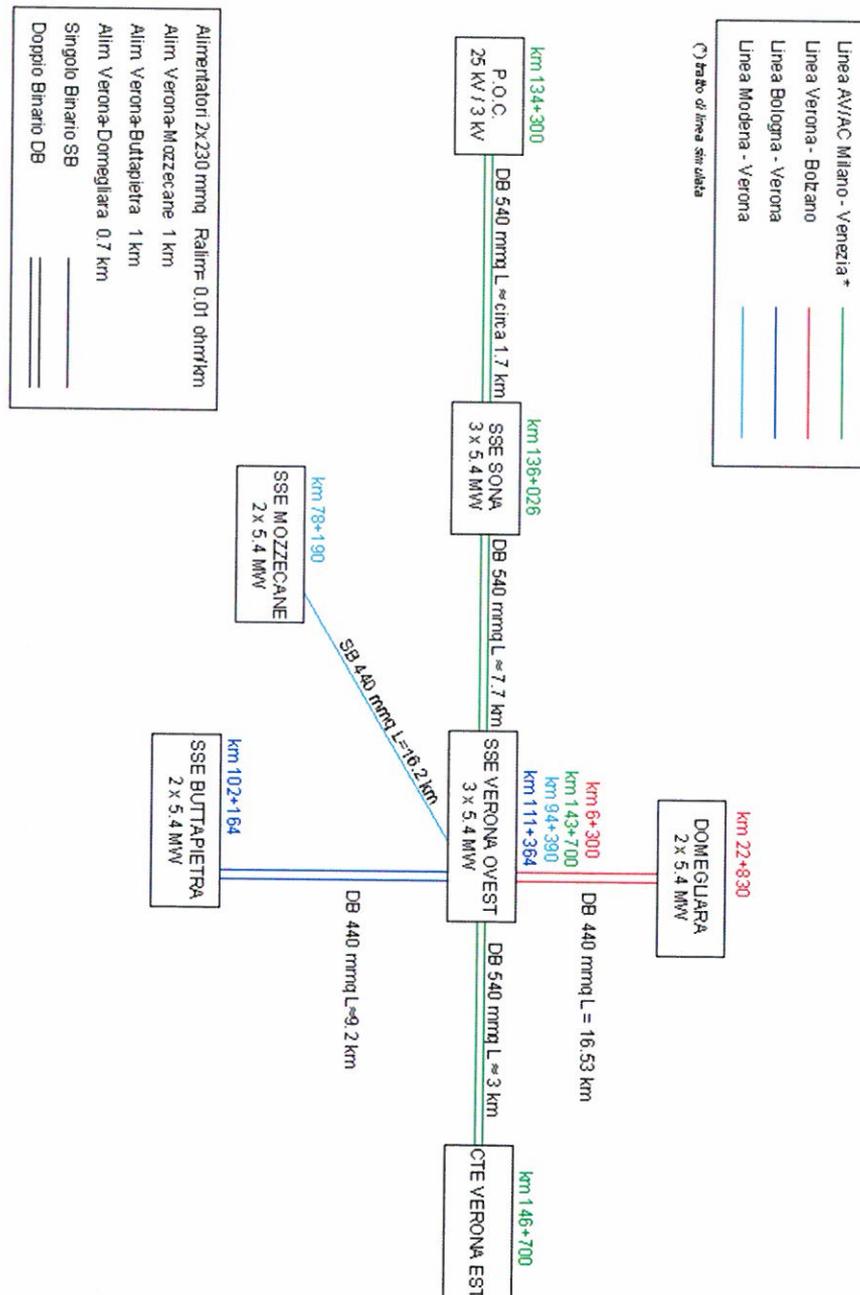


Figura 1 - Schema di alimentazione semplificato

5. Risultati delle simulazioni di marcia

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

	ETR 500	
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari
	Nodo di Verona – Linea AV	Nodo di Verona – Linea AV
Energia totale assorbita [kWh]	137.76	499.63
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	11.1	40.29
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	16.1	58.39
Potenza media per treno [kW]	1660.09	5631.04
Velocità media [km/h]	149.428	139.753

Tabella 3 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia: Nodo di Verona - Linea AV Milano - Venezia

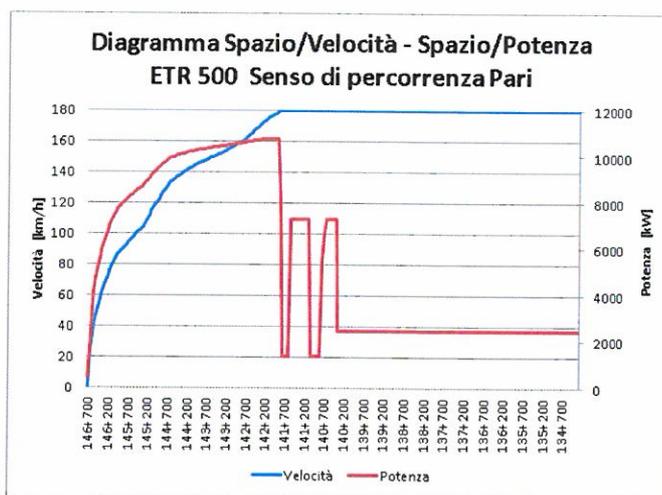
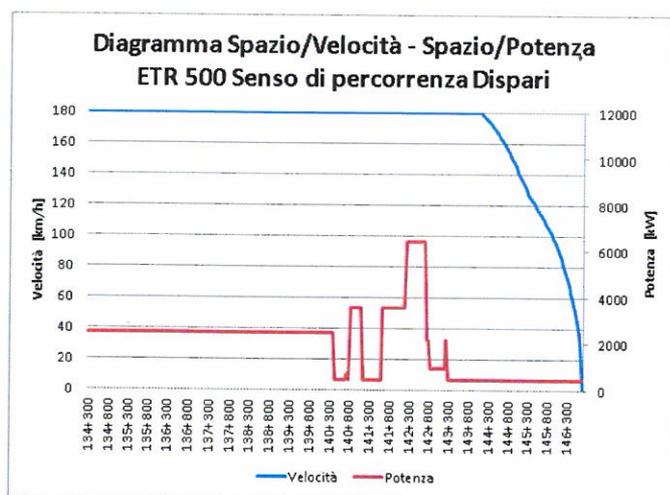


Figura 2 - Caratteristiche Spazio/Velocità - Spazio/Potenza "ETR 500" – Nodo Verona – Linea AV Milano - Venezia

6. Verifica del sistema elettrico di alimentazione

6.1 SISTEMA DI ALIMENTAZIONE A 3 KV CC

Al fine di realizzare la verifica del sistema elettrico di alimentazione della rete, è stata analizzata la rete a 3 kV rappresentata Figura 1.

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

La verifica delle prestazioni del sistema è realizzata analizzando la seguente condizione di funzionamento:

- Condizione di funzionamento in "servizio normale":
si assume che tutte le Sottostazioni elettriche di conversione sono in servizio;
- Condizioni di funzionamento in "servizio degradato":
si assume il fuori servizio ciclico completo/parziale delle Sottostazioni elettriche di conversione adiacenti la tratta oggetto di certificazione;

Lo studio sulla verifica della potenzialità del sistema elettrico è stato realizzato tramite programmi dedicati che eseguono le simulazioni di marcia dei treni fornendo le seguenti prestazioni del sistema:

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

6.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI SISTEMA

6.2.1 SERVIZIO NORMALE

Nel seguito sono riportati i risultati generali delle simulazioni di sistema "Normale Servizio" e i valori caratteristici della tensione al pantografo. Questi ultimi sono inoltre confrontati con i valori limite prescritti dalle normative di riferimento **CEI EN 50163** e **CEI EN 50388**.

	Nodo Verona - Linea AV
	Normale servizio
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	7942
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	18380
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	7649
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	17173
Rendimento medio della linea di contatto [%]	96,31

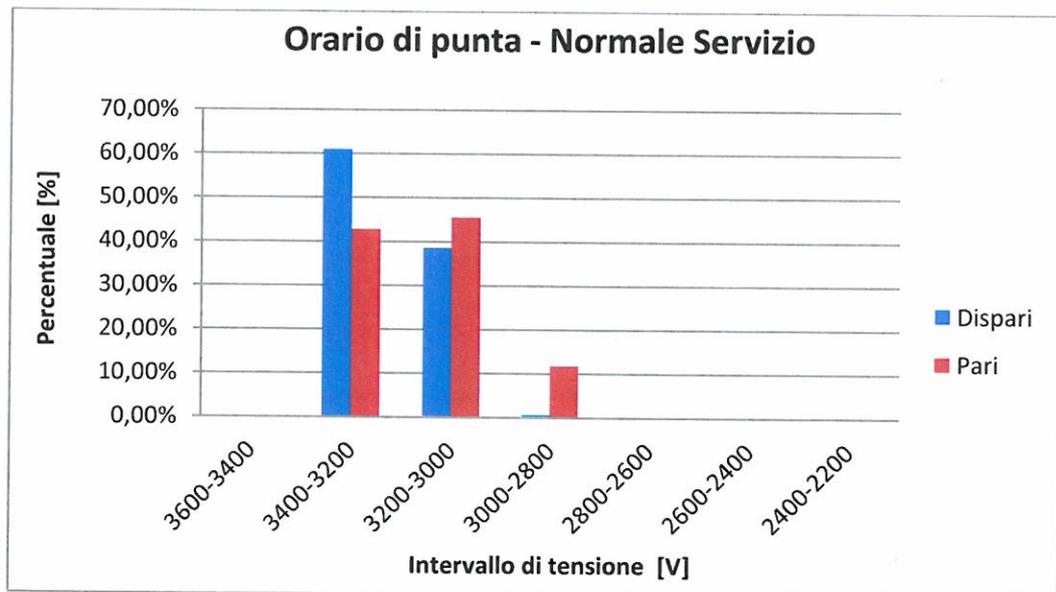
Tabella 4 - Condizione di normale servizio - Risultati generali

SSE	Correnti [A]		
	Media quadrica	Media aritmetica	Massima
SSE Sona (solo AV)	1127	1085	2023
SSE Sona (contributo altre linee)	-	-	1515 ¹
SSE Sona (totale)	-	-	3538
SSE Verona Ovest (solo AV)	1615	1289	3834 ¹
SSE Verona Ovest (contributo altre linee)	-	-	2779
SSE Verona Ovest (totale)	-	-	6613

Tabella 5 - Condizione di normale servizio - Carico SSE

¹ Tale valore è un dato di output del software ALIN che ha come riferimento lo schema di **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata.

		Nodo di Verona – Linea AV		Limiti Normativi
		Normale servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3323		-
	Pari	3259		
Tensione media utile [V]	Dispari	3315		2800
	Pari	3197		
Tensione minima [V]	Dispari	3076		2000
	Pari	3000		

Tabella 6 - Condizione di normale di servizio – Valori caratteristici di tensione

Figura 3 – Servizio Normale: distribuzione globale tensioni all'archetto "Orario di punta"

Come risulta dalla Tabella 6, il valore di tensione minima per il verso dispari è di 3076 V mentre per il verso pari è di 3000 V. Tali valori risultano pertanto superiori ai limiti prescritti dalle normative citate.

Il valore di tensione media utile, indice di qualità di tensione al pantografo, per il verso dispari è di 3315 V mentre per il verso pari è di 3197 V (entrambi al disopra del limite di 2800 V prescritto dalla normativa). L'analisi della Figura 3, che riporta le distribuzioni percentuali delle tensioni, evidenzia come la tensione all'archetto risulti essere maggiormente compresa nella fascia tra 3400 V e 3200 V.

Il valore di **corrente media quadratica** maggiore è registrato nella sezione elettrica che comprende la tratta tra la Cabina TE di Verona Est e la SSE di Verona Ovest ed è pari a 1264 A. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (540 mm²) ne risulta un valore di densità di

corrente di $2,34 \text{ A/mm}^2$. Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.

6.2.2 SERVIZIO DEGRADATO FUNZIONAMENTO CON UN GRUPPO IN SSE VERONA OVEST

Al fine di realizzare una verifica di sistema, nel seguito si analizza la configurazione elettrica che prevede la condizione di degrado della SSE di Verona Ovest facendo funzionare un solo gruppo. Nel dettaglio si riportata il carico delle SSE, i valori di tensione relativi al pantografo per entrambi i sensi di marcia e i risultati generali della simulazione. Inoltre si confrontano i valori di tensione ricavati dalle simulazioni con i valori limite imposti dalle normative di riferimento CEI EN 50163 e CEI EN 50388.

		Nodo Verona – Linea AV	
		Servizio Degradato con 1 gruppo in SSE Verona Ovest	
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]		8195	
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]		18795	
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]		7641	
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]		16540	
Rendimento medio della linea di contatto [%]		93.24	

Tabella 7 - Condizione di servizio degradato: 1 gruppo nella SSE di Verona Ovest - Risultati generali

SSE	Valore di corrente [A]		
	Servizio degradato: 1 gr. SSE Verona Ovest		
	Media quad.	Media arit.	Massima
SSE Sona (solo AV)	1727	1636	3450
SSE Sona (contributo altre linee)	-	-	2165 ¹
SSE Sona (totale)	-	-	5615
SSE Verona Ovest (solo AV)	1189	909	3014
SSE Verona Ovest (contributo altre linee)	-	-	1373 ¹
SSE Verona Ovest (totale)	-	-	4387

Tabella 8 - Condizione di servizio degradato: 1 gruppo nella SSE di Verona Ovest - Carico SSE

		Nodo di Verona – Linea AV		Limiti Normativi
		Servizio degradato: 1 gr. SSE Verona Ovest		
Tensione media [V]	Dispari	3177		-
	Pari	3087		
Tensione media utile [V]	Dispari	3165		2800
	Pari	2959		
Tensione minima [V]	Dispari	2696		2000
	Pari	2601		

Tabella 9 - Condizione di servizio degradato: 1 gr. in SSE di Verona Ovest - Valori caratteristici di tensione

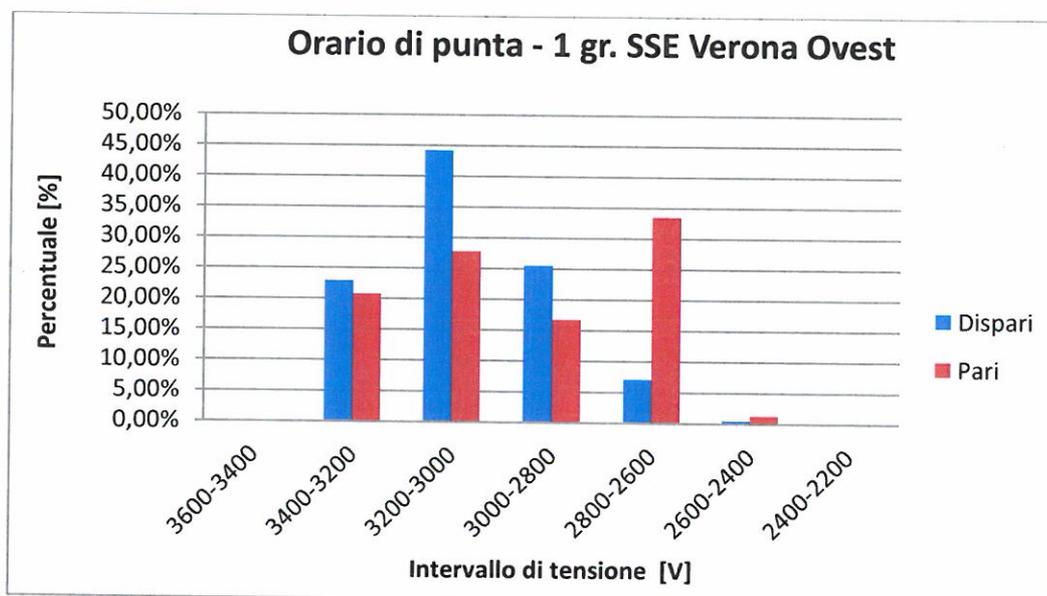


Figura 4 – Servizio degradato con 1 gruppo funzionante in SSE Verona Ovest: distribuzione globale tensioni all’archetto “Orario di punta”

Come risulta dalla Tabella 9, il valore di tensione minima per il verso dispari è di 2696 V mentre per il verso pari è di 2601 V. Tali valori risultano pertanto superiori ai limiti prescritti dalle normative citate.

Il valore di tensione media utile, indice di qualità di tensione al pantografo, per il verso dispari è di 3165 V mentre per il verso pari è di 2959 V (entrambi al disopra del limite di 2800 V prescritto dalla normativa). L’analisi della Figura 4 – Servizio degradato con 1 gruppo funzionante in SSE Verona Ovest: distribuzione globale tensioni all’archetto “Orario di punta”, che riporta le distribuzioni percentuali delle tensioni, evidenzia come la tensione all’archetto risulti essere maggiormente compresa nella fascia tra 3200 V e 3000 V.

Il valore di **corrente media quadratica** maggiore è registrato nella sezione elettrica compresa tra la

Cabina di Verona Est e la SSE di Verona Ovest risulta essere pari a 1414 A. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (540 mm^2) ne risulta un valore di densità di corrente pari a $2,63 \text{ A/mm}^2$. Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.

Nell'ipotesi di installazione di soli due gruppi nella SSE di Verona Ovest e supponendo un gruppo solo in funzionamento quest'ultimo non riesce a soddisfare le richieste di punta del carico di esercizio.

Per garantire un'adeguata riserva al sistema si ritiene pertanto necessario installare tre gruppi di conversione ca/cc nella nuova SSE di Verona Ovest.

6.2.3 SERVIZIO DEGRADATO CON SSE DI VERONA OVEST FUORI SERVIZIO

Nel seguito si analizza la configurazione elettrica che prevede la condizione di servizio degradato con la SSE di Verona Ovest completamente fuori servizio. Nel dettaglio si riportata il carico delle SSE, i valori di tensione relativi al pantografo per entrambi i sensi di marcia e i risultati generali della simulazione. Si ricorda che al nodo afferiscono i contributi delle sottostazioni limitrofe quali (Buttapietra, Mozzecane, Domegliara). Inoltre si confrontano i valori di tensione ricavati dalle simulazioni con i valori limite imposti dalle normative di riferimento CEI EN 50163 e CEI EN 50388.

	SSE Verona Ovest Fuori Servizio
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	8187
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	18127
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	7516
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	15651
Rendimento medio della linea di contatto [%]	91.8

Tabella 10 - Condizione di servizio degradato: SSE Verona Ovest fuori servizio - Risultati generali

SSE	SSE Verona Ovest Fuori Servizio		
	Valore di corrente media quadratica [A]	Valore di corrente media aritmetica [A]	Valore di corrente massimo [A]
SSE Sona (solo AV)	1905	1799	3714
SSE Sona (contributo altre linee)	-	-	2803 ¹
SSE Sona (totale)	-	-	6517

Tabella 11 - Condizione di servizio degradato: SSE Verona Ovest fuori servizio - Carico SSE

		Servizio degradato		Limiti Normativi
		SSE Verona Ovest Fuori Servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3105		-
	Pari	3008		
Tensione media utile [V]	Dispari	3095		2800
	Pari	2866		
Tensione minima [V]	Dispari	2577		2000
	Pari	2500		

Tabella 12 - Condizione di servizio degradato: SSE di Verona Ovest FS - Valori caratteristici di tensione

Come risulta dalla Tabella 15, in caso di fuori servizio, le tensioni minime sono rispettate, mentre la media utile è quasi ai limiti prescritti dalla normativa secondo STI AV.

Con il fuori servizio completo della SSE di Verona Ovest si nota da Tabella 11 che la SSE di Sona lavora con i tre gruppi tutti funzionanti entro i limiti massimi di sovraccarico ammissibili.

6.2.4 SERVIZIO DEGRADATO CON SSE DI SONA FUORI SERVIZIO

Nel seguito si analizza la configurazione elettrica che prevede la condizione di servizio degradato con la SSE di Sona fuori servizio. Nel dettaglio si riportata il carico delle SSE, i valori di tensione relativi al pantografo per entrambi i sensi di marcia e i risultati generali della simulazione. Inoltre si confrontano i valori di tensione ricavati dalle simulazioni con i valori limite imposti dalle normative di riferimento CEI EN 50163 e CEI EN 50388.

	SSE Sona Fuori Servizio
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	8048
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	18133
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	7647
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	16980
Rendimento medio della linea di contatto [%]	95.02

Tabella 13 - Condizione di servizio degradato: SSE Sona fuori servizio - Risultati generali

SSE	SSE Sona Fuori Servizio		
	Valore di corrente media quadratica [A]	Valore di corrente media aritmetica [A]	Valore di corrente massimo [A]
SSE Verona Ovest (solo AV)	2832	2561	6167
SSE Verona Ovest (contributo altre linee)	-	-	3768 ¹
SSE Verona Ovest (totale)	-	-	9935

Tabella 14 - Condizione di servizio degradato: SSE Sona fuori servizio - Carico SSE

		Servizio degradato		Limiti Normativi
		SSE Sona Fuori Servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3061		-
	Pari	3022		
Tensione media utile [V]	Dispari	2984		2800
	Pari	2986		
Tensione minima [V]	Dispari	2656		2000
	Pari	2666		

Tabella 15 - Condizione di servizio degradato: SSE di Sona - Valori caratteristici di tensione

Con il fuori servizio della SSE di Sona i tre gruppi installati a Verona Ovest si trovano a lavorare nelle punte di carico con un sovraccarico che risulta essere prossimo a quello massimo consentito.

7. Conclusioni

Lo studio effettuato mostra che la configurazione elettrica proposta in Figura 1 e richiamata nel Capitolo 4, risulta essere idonea per un traffico passeggeri AV con cadenzamento di 5 minuti tra i vari treni.

Nel caso di fuori servizio completo della SSE di Sona, la SSE di Verona Ovest eroga picchi di corrente, durante le punte di carico, di circa 10 kA. Quindi, con l'installazione dei 3 gruppi nella SSE di Verona Ovest si riesce a soddisfare il massimo carico di esercizio, mentre con due soli gruppi non sarebbero soddisfatte le esigenze di carico di punta.

In caso di servizio degradato con la SSE di Verona Ovest fuori servizio, la SSE di Sona risulta funzionare con i tre gruppi entro i limiti massimi ammissibili di sovraccarico.

9. Allegato B : rete elettrica 3 kVcc Nodo di Verona

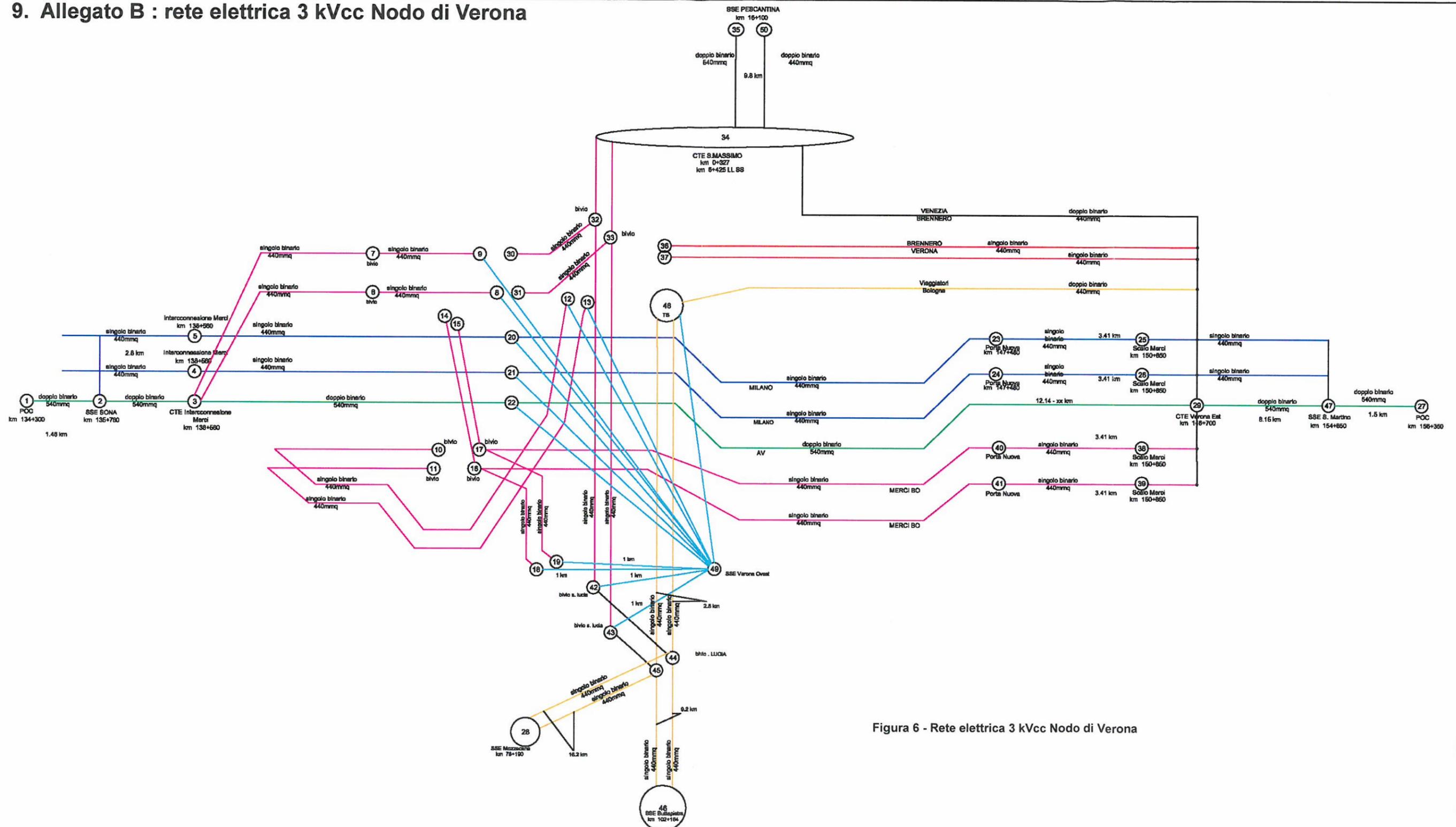


Figura 6 - Rete elettrica 3 kVcc Nodo di Verona