

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. TECNOLOGIE SUD

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA

Verifica requisiti S.T.I. - Sottosistema «Energia»

Sistema ferroviario dell'Unione Europea – Regolamenti (UE) N.1301/2014 e S.M.I. -
Parte elettrica

SCALA:

-

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

IA6C 00 F 67 SD SE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	G. D'Addato <i>G. D'Addato</i>	01/2021	S. Acunzo <i>S. Acunzo</i>	01/2021	T. Paoletti <i>T. Paoletti</i>	01/2021	A. Presta 01/2021



Sommario

1	SCOPO	3
2	NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Riferimenti Normativi.....	4
2.2	Riferimenti Progettuali.....	5
3	VERIFICA DEI REQUISITI STI ENERGIA	6
3.1	Tensione e Frequenza (§ 4.2.3 STI)	6
3.2	Parametri Relativi alle Prestazioni del Sistema di Alimentazione (§ 4.2.4 STI).....	6
3.3	Capacità di Corrente, Sistemi CC, con Treni in Stazionamento (§ 4.2.5 STI).....	6
3.4	Frenatura a Recupero (§ 4.2.6 STI)	7
3.5	Disposizioni per il Coordinamento della Protezione Elettrica (§ 4.2.7 STI)	7
3.6	Armoniche ed Effetti Dinamici dei Sistemi di Alimentazione per la Trazione in C.A. (§ 4.2.8 STI)	8
3.7	Tratti a Separazione di Fase (§ 4.2.15 STI)	8
3.8	Tratti a Separazione di Sistema (§ 4.2.16 STI).....	8
3.9	Sistema di Raccolta dei Dati sull'energia a Terra (§ 4.2.17 STI).....	8
4	VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE	9
4.1	Dati di base.....	9
4.1.1	Caratteristiche del tracciato	9
4.1.2	Caratteristiche del materiale rotabile	9
4.1.3	Caratteristiche della linea di contatto.....	9
4.1.4	Caratteristiche degli impianti fissi di alimentazione.....	10
4.1.5	Ipotesi di traffico	11
4.2	Verifica del sistema elettrico di alimentazione.....	13
4.2.1	Sistema di alimentazione a 3 kV cc.....	13
4.2.2	Risultati delle simulazioni di marcia.....	14
4.2.3	Risultati delle simulazioni di sistema: Normale servizio.....	15

1 SCOPO

La presente relazione fornisce gli elementi progettuali necessari per la verifica tecnica di conformità alla specifica tecnica d'interoperabilità (STI) per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione Europea, riguardante la realizzazione del nuovo collegamento, a semplice binario, tra Barletta e Canosa di Puglia.

I limiti di intervento per il sottosistema «Energia» sono così definiti e suddivisi:

- da pk 593+080 km della linea storica Bari – Lecce (coincidente approssimativamente con la SSE di Barletta), alla pk 24+268 km (coincidente approssimativamente con la stazione di Canosa) come da elaborati descritti al paragrafo 2.2

Nel seguito sono illustrati i risultati delle verifiche effettuate sulle caratteristiche di progetto relative ai parametri elettrici fondamentali di interoperabilità del sottosistema Energia, come indicati nella tabella riportata al paragrafo 3 della citata STI:

1. Tensione e frequenza (§ 4.2.3);
2. Parametri relativi alle prestazioni del sistema di alimentazione (§ 4.2.4);
3. Capacità di corrente, sistemi CC, treni in stazionamento (§ 4.2.5);
4. Frenatura a recupero (§ 4.2.6);
5. Disposizioni per il coordinamento della protezione elettrica (§ 4.2.7);
6. Armoniche ed effetti dinamici dei sistemi di alimentazione per la trazione a CA (§ 4.2.8).
7. Tratti a separazione di fase (§ 4.2.15);
8. Tratti a separazione di sistema (§ 4.2.16);
9. Sistema di raccolta dei dati Sull'energia a terra (§ 4.2.17);

2 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le norme di riferimento alla base della presente analisi, definiscono principalmente la qualità della tensione al pantografo da garantire sia in condizione di normale funzionamento che in condizioni di degrado.

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

- 2014/1301/UE** Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- 2019/776** Regolamento di esecuzione UE che modifica i regolamenti n°1301/2014/UE
- EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica (Ed. 2010)
- EN 50163** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione (Ed. 2006)
- 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 (Ed. 2012)
- EN 50367** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Sistemi di captazione di corrente - Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (Ed. 2013)

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

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

IA6C00F67RGTE0000001 - Relazione tecnica generale

IA6C00F67DXTE0000001 - Linea di contatto - Schema di alimentazione TE generale 3 kVcc

IA6C00F16PHES0001001 - Relazione tecnica di esercizio

IA6C00F10RGIF0001001A - Relazione tecnico descrittiva linea ferroviaria

IA6C00F10L5IF0001001A - Plano-Profilo su Cartografia Tav. 1 di 5

IA6C00F10L5IF0001002A - Plano-Profilo su Cartografia Tav. 2 di 5

IA6C00F10L5IF0001003A - Plano-Profilo su Cartografia Tav. 3 di 5

IA6C00F10L5IF0001004A - Plano-Profilo su Cartografia Tav. 4 di 5

IA6C00F10L5IF0001005A - Plano-Profilo su Cartografia Tav. 5 di 5

IA6C00F10L5IF0002001A - Plano-Profilo di tracciamento linea esistente Tav. 1 di 5

IA6C00F10L5IF0002002A - Plano-Profilo di tracciamento linea esistente Tav. 2 di 5

IA6C00F10L5IF0002003A - Plano-Profilo di tracciamento linea esistente Tav. 3 di 5

IA6C00F10L5IF0002004A - Plano-Profilo di tracciamento linea esistente Tav. 4 di 5

IA6C00F10L5IF0002005A - Plano-Profilo di tracciamento linea esistente Tav. 5 di 5

3 VERIFICA DEI REQUISITI STI ENERGIA

La seguente sezione mostra i risultati delle verifiche condotte, in relazione ai requisiti essenziali riportati al § 3 del Regolamento (UE) 1301/2014 e s.m.i. (UE 776/2019).

3.1 TENSIONE E FREQUENZA (§ 4.2.3 STI)

Requisito soddisfatto poiché al punto 4.2.3 delle direttive STI «Energia» è previsto l'impiego di sistemi 3 kV_{cc}. I valori limite di tensione sono conformi alle prescrizioni della norma EN 50163 (vedi successivo Capitolo 4).

3.2 PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE (§ 4.2.4 STI)

Requisito soddisfatto, si vedano i risultati riportati nel Capitolo 4.

3.3 CAPACITÀ DI CORRENTE, SISTEMI CC, CON TRENI IN STAZIONAMENTO (§ 4.2.5 STI)

In base alla portata di corrente della linea nella tratta analizzata, il sistema è da ritenersi idoneo secondo le direttive STI.

Infatti, ipotizzando n°1 treno in stazionamento con entrambi i pantografi in presa, la corrente massima assorbita risulta pari a 400 A. Tale valore determina le seguenti densità di corrente per le differenti tipologie di catenaria impiegata:

- Per le condutture delle tratte in oggetto essendo tutte le sezioni pari a 440 mm², la densità di corrente risulta pari a 0,91 A/mm²;

I valori di densità di corrente determinati, producono temperature compatibili con i limiti definiti al paragrafo 5.1.2 della norma EN 50119.

3.4 FRENATURA A RECUPERO (§ 4.2.6 STI)

In questa fase non sono previsti interventi sugli impianti di alimentazione destinati alla trazione elettrica.

Tuttavia, si evidenzia che il sistema di alimentazione a 3kVcc, realizzato secondo gli standard di RFI S.p.A, consente l'impiego del sistema di frenatura a recupero come freno di servizio, tramite lo scambio di energia con altri treni.

Inoltre, come indicato nella tabella seguente, estratta dalla norma EN 50388:

Sistema di alimentazione elettrica	Linee STI AV		Linee STI convenzionali e linee classiche																											
	HS	Potenziato e di raccordo	Obiettivo	AT	BE	CH	CZ	DE	DK	ES	FI	FR	GB	GR	HU	IE	IS	IT	LU	MT	NL	NO	PL	PT	SE	SI	SK			
25 000 V c.a. 50 Hz	Si	Si	Si	/	?	/	No	/	Si	Si	Si	Si ^(b)	Si ^(b)	Si	?	/	/	/	Si	/	Si	/	/	Si	/	/	Si	/	Si	
15 000 V c.a. 16,7 Hz	Si	Si	Si	Si ^(b)	/	Si	/	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Si ^(b)	/	/	Si	/	/	/	/	
3 000 V c.c. ^(a)	^(a)	^(a)	Si	/	?	/	No	/	/	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	Si	/	/	/	a	/	/	Si	Si	/	/	
1 500 V c.c. ^(a)	/	^(a)	Si	/	/	/	No	/	Si	/	/	Si	/	/	/	Si	/	/	/	/	Si	/	/	?	/	/	/	/	/	
750 V c.c. ^(a)	/	N. A.	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	/	No	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

(a) nei sistemi in c.c., su richiesta dell'operatore, il gestore dell'infrastruttura può decidere l'accettazione della frenatura a recupero.
 (b) valore ridotto della potenza recuperata in determinati luoghi per vecchie installazioni.

Figura 1 - tabella EN 50388

In Italia, per il sistema di alimentazione a 3kVcc, il gestore dell'infrastruttura può decidere l'accettazione della frenatura a recupero.

Pertanto, si ritiene soddisfatto il requisito richiesto.

Si precisa inoltre che gli impianti fissi di conversione, installati nelle SSE, non permettono l'utilizzo del sistema di frenatura a recupero come freno di servizio, tramite lo scambio di energia con la rete di alimentazione.

3.5 DISPOSIZIONI PER IL COORDINAMENTO DELLA PROTEZIONE ELETTRICA (§ 4.2.7 STI)

La protezione della LC avviene, secondo gli standard del gestore dell'infrastruttura ferroviaria RFI S.p.A., attraverso le Unità Funzionali Alimentatore, installate nelle SSE e nelle Cabine TE, dotate di interruttori extrarapidi auto-richiudenti tarati con valori di intervento compatibili con i minimi valori di

corrente di linea. In caso di guasto sulla LC, dopo l'apertura degli interruttori extrarapidi interessati, compatibilmente con l'apertura dell'interruttore di macchina e previa verifica automatica dell'integrità della LC attraverso le resistenze di prova terra, avviene la richiusura automatica dell'alimentatore della cella.

Tale sistema di coordinamento delle protezioni, che dovranno essere opportunamente tarate a cura del gestore dell'infrastruttura, è in linea con quanto previsto dalla norma EN 50388 e quindi con il requisito STI richiesto.

3.6 ARMONICHE ED EFFETTI DINAMICI DEI SISTEMI DI ALIMENTAZIONE PER LA TRAZIONE IN C.A. (§ 4.2.8 STI)

Tale requisito deve essere verificato dal gestore dell'infrastruttura ferroviaria. Il sistema di elettrificazione presenta apparecchiature a standard di RFI S.p.A..

3.7 TRATTI A SEPARAZIONE DI FASE (§ 4.2.15 STI)

Tale requisito non risulta essere applicabile poiché l'alimentazione prevede l'impiego di sistemi a 3 kVcc.

3.8 TRATTI A SEPARAZIONE DI SISTEMA (§ 4.2.16 STI)

Tale requisito non risulta essere applicabile poiché nella tratta oggetto di certificazione non è previsto il transito di treni tra sistemi diversi di alimentazione.

3.9 SISTEMA DI RACCOLTA DEI DATI SULL'ENERGIA A TERRA (§ 4.2.17 STI)

Tale requisito non è applicabile poiché la tratta non prevede l'installazione di apparecchiature destinate alla misurazione dei consumi elettrici finalizzati alla fatturazione.

4 VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE

4.1 Dati di base

4.1.1 Caratteristiche del tracciato

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

Il tracciato simulato, sviluppato all'aperto, è caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 24,268 km.

4.1.2 Caratteristiche del materiale rotabile

Il traffico ferroviario implementato nel programma di calcolo, che risulta dai documenti di riferimento risulta essere, è costituito da n°1 categorie di treni differenti.

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

Categoria treno	Merci
Tipo di treno	E464 + 5 carrozze
Velocità max.	160 km/h
Tensione nominale linea	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	100 kW
Massa Complessiva	272 t
Rendimento Locomotiva	0,9
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05
Decelerazione costante in piano	0,4 m/s ²

Tabella 1 - Caratteristiche del materiale rotabile

4.1.3 Caratteristiche della linea di contatto

La sezione delle condutture di contatto della tratta analizzata è pari a 440 mm² come rappresentato in Figura 4.

4.1.4 Caratteristiche degli impianti fissi di alimentazione

Le caratteristiche elettriche degli impianti di alimentazione, relativi alla tratta oggetto della simulazione, sono riportate in Tabella 2.

SSE/Cabina TE	
Nome	Potenza installata
SSE Canosa	2 x 5,4 MW
SSE Barletta (alimentatore aggiuntivo su impianto esistente)	2 x 5,4 MW
SSE Limitrofe	
Nome	Potenza installata
SSE Molfetta	2 x 3,6 MW
SSE Cerignola	2 x 5,4 MW

Tabella 2 - Elenco Sottostazioni Elettriche

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% P _n per 2h 233% P _n per 5'
Tensione nominale [V]	3600
Corrente nominale [A]	1500
Corrente Ammissibile continuativa [A]	2100
Corrente Ammissibile per 2h [A]	3000
Resistenza int. equivalente [Ω]	0,2

Tabella 3 - Caratteristiche elettriche apparecchiature SSE

4.1.5 Ipotesi di traffico

La verifica della potenzialità degli impianti di alimentazione TE è basata sul modello di esercizio descritto negli elaborati di riferimento

- IA6C00F16RGES0001001A – *Relazione Tecnica di Esercizio*

Tale modello di esercizio prevede un totale di 38 treni regionali (per entrambe le direzioni); non è prevista per tale linea servizio merci, IC o ES.

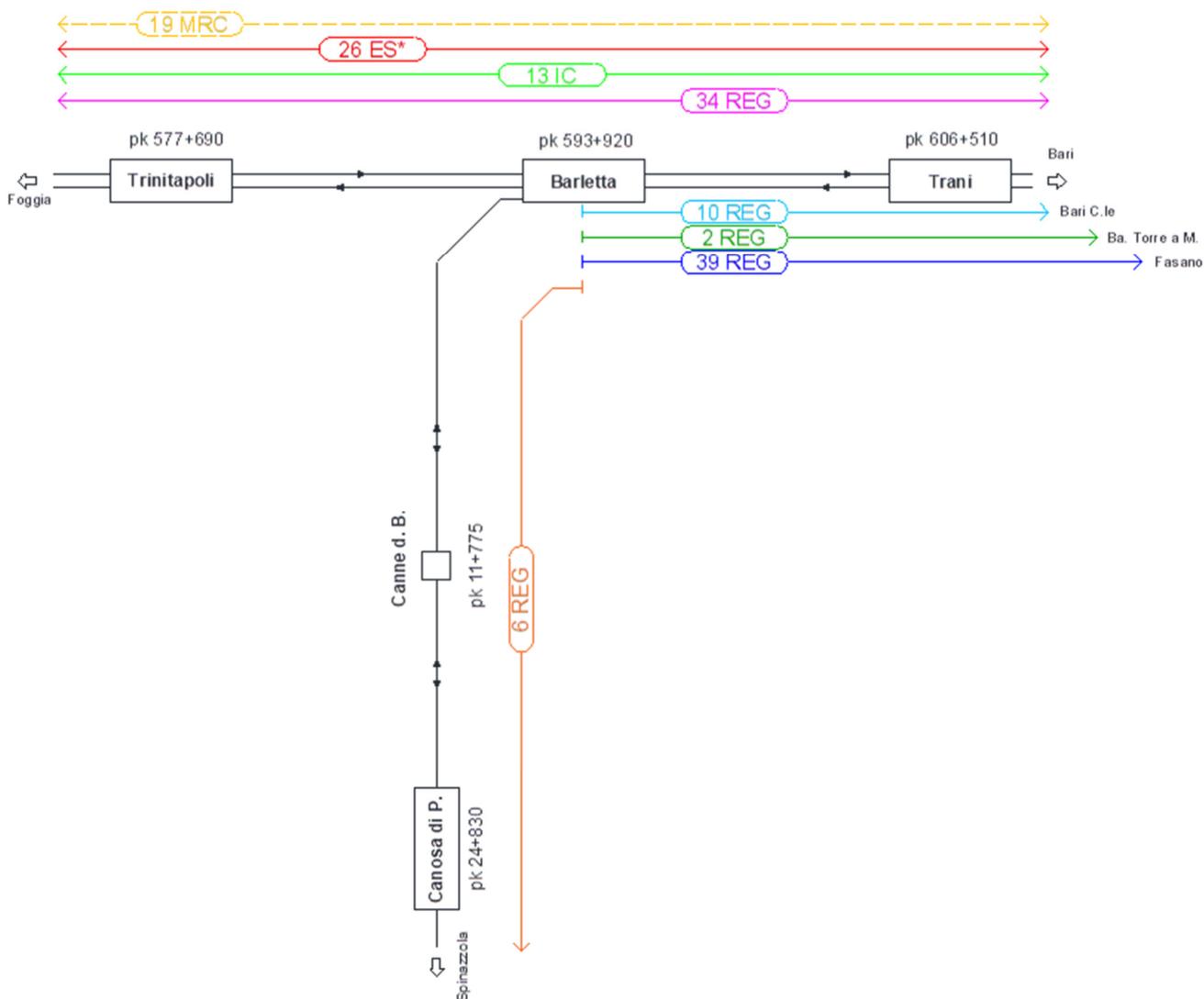


Figura 2 - Modello di esercizio diurno e notturno treni regionali E464+ 5 Carrozze per Stazione di Canosa

In Figura 3 - Orario di servizio

è riportato il dettaglio dell'orario di servizio, legato alla tipologia di materiale rotabile, previsto per la fase di attivazione.

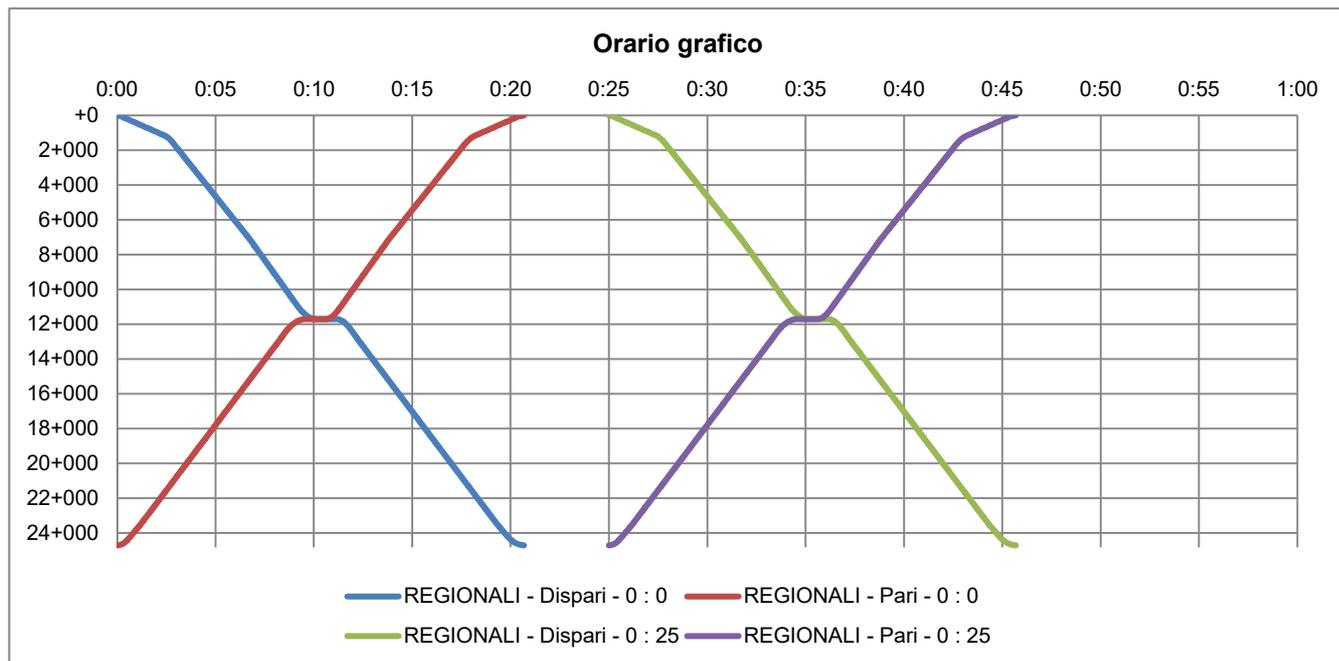


Figura 3 - Orario di servizio

Per la verifica della conformità dei parametri elettrici di maggiore interesse (tensione al pantografo, carico SSE, riscaldamento dei conduttori) nelle condizioni di regime e di degrado, si è implementato nel software l'ora di punta che scaturisce dall'orario di servizio riportato in Figura 3.

4.2 VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE

4.2.1 Sistema di alimentazione a 3 kV cc

L' idoneità del sistema elettrico è stata analizzata in riferimento ai valori di tensione al pantografo e alla compatibilità del carico elettrico con gli impianti fissi di trazione.

Come prescritto nella specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea, la verifica delle prestazioni del sistema in termini di qualità di tensione al pantografo e potenza installata degli impianti fissi di trazione, è realizzata per le condizioni di normale funzionamento.

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

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

Di seguito è rappresentata la rete semplificata della tratta oggetto di simulazione.

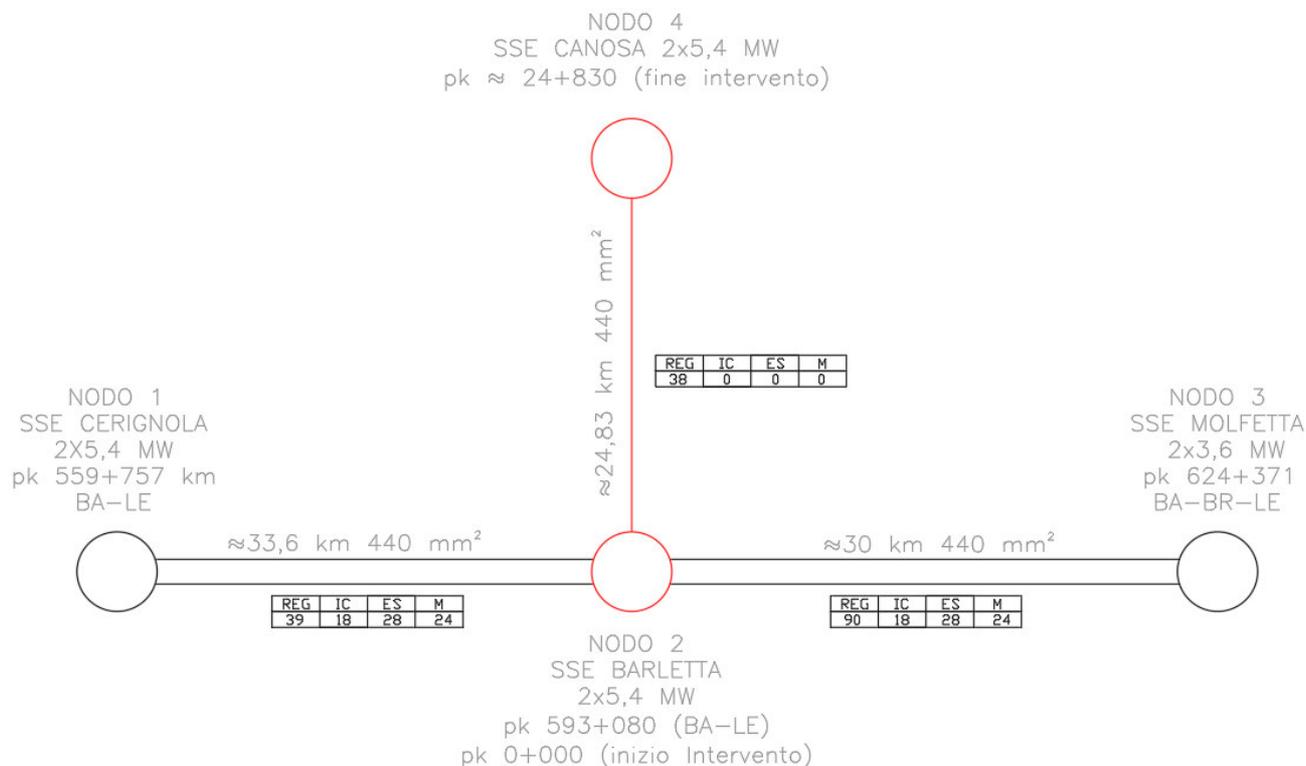


Figura 4 - Schema di alimentazione semplificato

4.2.2 Risultati delle simulazioni di marcia

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle simulazioni di marcia, suddivisi in base alle singole tipologie di materiale rotabile, per la determinazione delle caratteristiche cinematiche e della potenza assorbita dai treni sulla tratta in esame:

	E464 + 5 Carrozze	
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari
Energia totale assorbita [kWh]	213,07	139,5
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	8,62	5,64
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	31,71	20,76
Potenza media per treno [kW]	618,14	404,78
Velocità media [km/h]	71,658	71,672

Tabella 4 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia

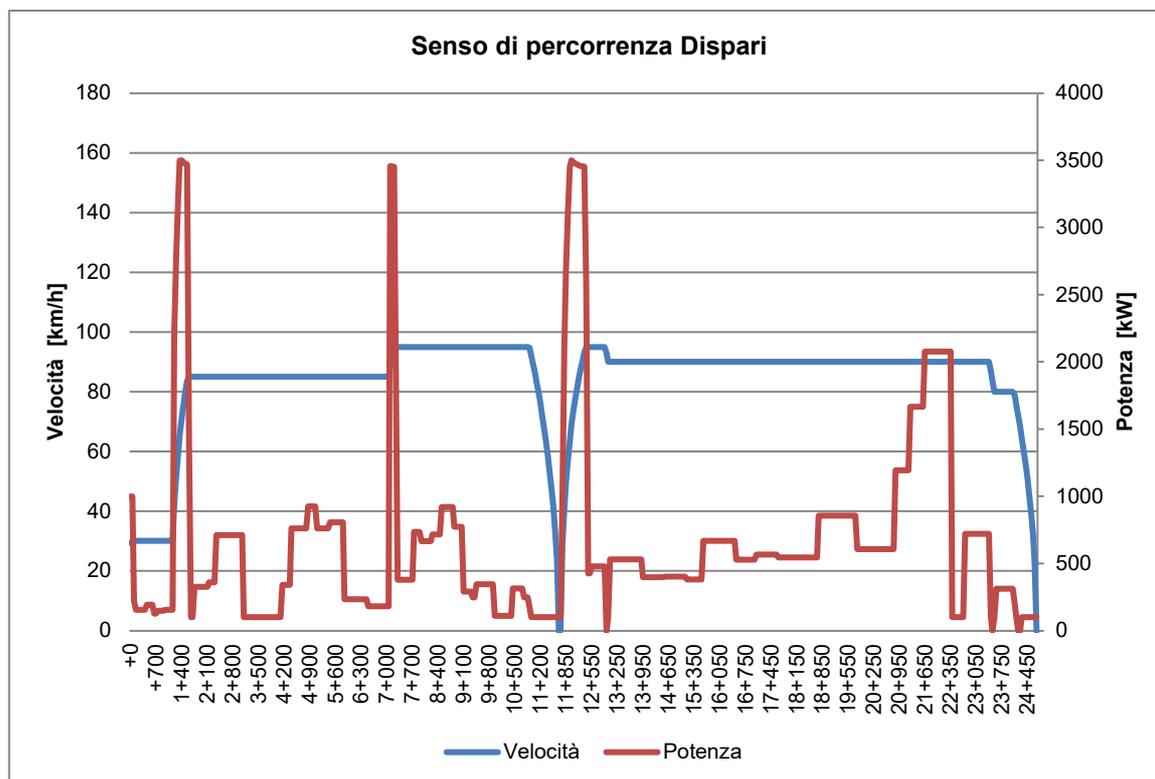


Figura 5 – E464+100t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza Senso Dispari

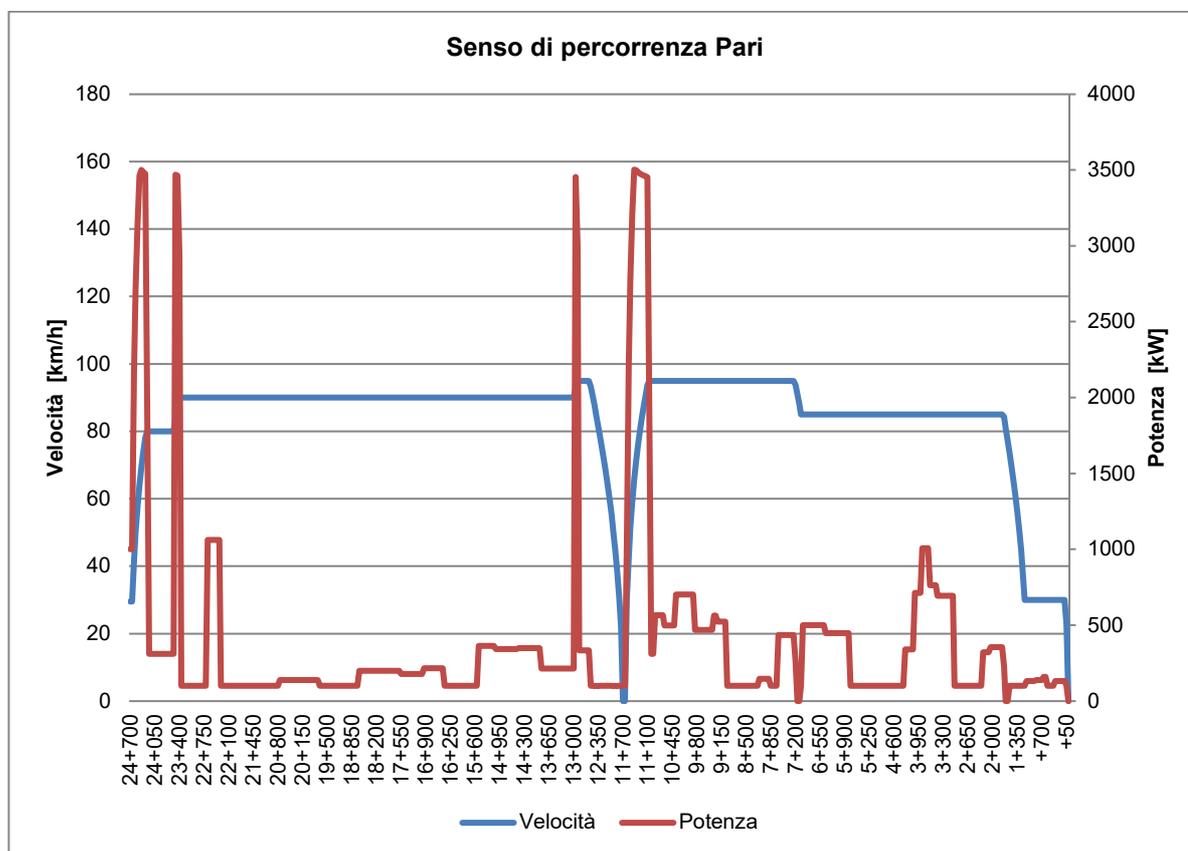


Figura 6 – E484+100t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza Senso Pari

4.2.3 Risultati delle simulazioni di sistema: Normale servizio

La simulazione è stata condotta riconducendosi al circuito equivalente ricavato attraverso il teorema di Thévenin ai capi della tratta oggetto di studio e utilizzando un software per la risoluzione dei nodi ALIN per il calcolo delle tensioni.

Inoltre, è stato considerato anche il contributo delle SSE limitrofe di:

- SSE Molfetta - 2 x 3,6 MW
- SSE Cerignola - 2 x 5,4 MW

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

	Normale servizio Ora di Punta
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	755
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	5327
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	706
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	4342
Rendimento medio della linea di contatto [%]	93,51

Tabella 5 – Condizione normale di servizio - Risultati generali

	Corrente Media quadratica	Corrente Media aritmetica	Corrente Media massima
SSE Eq. Barletta	117	29	769
SSE Canosa	288	186	1031

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

		Normale servizio Ora di Punta	Limiti Normativi
Tensione media [V]	Binario dispari	3414	-
	Binario pari	3436	
Tensione media utile [V]	Binario dispari	3271	2700
	Binario pari	3291	
Tensione minima [V]	Binario dispari	2758	2000
	Binario pari	2741	

Tabella 7 - Condizione normale di servizio - Valori caratteristici di tensione

Come risulta dalla Tabella 7, il valore di tensione minima per il binario dispari è di 2758V mentre per il binario pari è di 2741V. Tali valori risultano superiori ai limiti prescritti dalle normative citate.

Il valore di tensione media utile, indice di qualità di tensione al pantografo, per il binario pari è di 3271 V mentre per il binario dispari è di 3291V (superiori al limite di 2700 V prescritto dalla normativa).

Il valore più alto di corrente media quadratica registrato nelle sezioni elettriche oggetto della simulazione è pari a 288A. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta

IMPIANTI SSE E CABINA TE – Verifica Requisiti STI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F67SDSE	00 00 001	A	17 di 17

(440mm²) ne risulta un valore massimo di densità di corrente pari a 0,65 A/mm². Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.