

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. Tecnologie SUD

PROGETTO DEFINITIVO

ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L. (LOTTO 1)

**Verifica requisiti S.T.I. sottosistema «Energia»
Sistema ferroviario Dell'Unione Europea – Regolamenti (UE) N.1301/2014 e s.m.i.
Parte elettrica**

PFTE da sottoporre all'esame del CSLP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale».

SCALA:

---:---

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

RC0W 01 D 67 SD SE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione definitiva	S.ACUNZO <i>S. Acunzo</i>	07/2020	L.SURACE <i>L. Surace</i>	07/2020	S.VANFIORI <i>S. Vanfiori</i>	07/2020	

RC0W 01 D 67 SD SE0000 001_A.docx

n. Elab. 317

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 a corrente alternata CA (§ 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.....	10
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	17
4.2.1	Sistema di alimentazione a 3 kV cc.....	17
4.2.2	Risultati delle simulazioni di marcia.....	18
4.2.3	Risultati delle simulazioni di sistema: Normale servizio.....	19

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 dell'elettrificazione della Lamezia Terme – Catanzaro Lido.

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

1. Tratta compresa tra:

- a. Lotto 1 : Lamezia Terme – Catanzaro Lido (circa 43 km tratta trasversale)

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. Trattati a separazione di fase (§ 4.2.15);
8. Trattati 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;
Edizione 2010;
- EN 50163** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione;
Edizione 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;
Edizione 2012;
- EN 50367** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Sistemi di captazione di corrente
Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (per ottenere il libero accesso);
Edizione 2013;

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

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

RC0T02D16RGES0001001	Relazione tecnica di esercizio
FL 144	Fascicolo Linea tratta Lamezia Terme Centrale – Catanzaro Lido
FL 145	Fascicolo Linea tratta Metaponto Reggio Calabria Centrale
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Profilo – Linea Lamezia T.C. - Catanzaro
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Linea Catanzaro Lido - Crotona;
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Linea Crotona - Sibari;
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Linea Catanzaro Lido - Riace;
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Linea Riace – Bovalino;
Profilo Storico	Profilo Storico Planimetria Linea Bovalino - Motta;

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	Potenziata 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	/	/	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 A CORRENTE ALTERNATA CA (§ 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 43 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 quattro categorie di treni differenti.

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

Categoria treno	Merci	IC	REG
Tipo di treno	E652+700 t	E464+3/4carrozze	Minuetto/PoP/E464
Velocità max.	120 km/h	160 km/h	140 km/h
Tensione nominale linea	3000 V	3000 V	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	75 kW	100 kW	100 kW
Massa Complessiva	1584 t	72+208 t	120 t
Rendimento Locomotiva	0,85	0,85	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05	1,05	1,05
Decelerazione costante in piano	0,3 m/s ²	0,4 m/s ²	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 8.

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 MT	
Nome	Potenza installata
CABINA TE LAMEZIA	2 x 3,6 MW (MT)
SSE SAMBIASE	2 x 5,4 MW (AT)
SSE FEROLETO	2 x 3,6 MW (MT)
SSE SETTINGIANO	2 x 3,6 MW (MT)
SSE CATANZARO LIDO	2 x 3,6 MW (MT)

Tabella 2 - Elenco Sottostazioni Elettriche

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

	Singolo Gruppo da 3,6 MW	Singolo Gruppo da 5,4 MW
Potenza nominale [kVA]	3880/2x1940	5760/2x2880
Potenza nominale [kW]	3600	5400
Caratteristiche di sovraccarico "Potenza"	200% P _n per 2h 300% P _n per 5'	200% P _n per 2h 233% P _n per 5'
Tensione nominale [V]	3600	3600
Corrente nominale [A]	1000	1500
Corrente Ammissibile per 2h [A]	2000	3000
Resistenza int. equivalente [Ω]	0,2	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

- RC0W 01 D 16 RG ES0001 001 – Relazione di esercizio

Tale modello di esercizio giornaliero prevede:

8 treni merci in servizio notturno (22:00-06:00) del tipo E652+700t tratta Catanzaro Lido – Sibari

64 treni regionali in servizio diurno (06:00-22:00) del tipo E464/Pop/Minuetto o E464+3/4carrozze

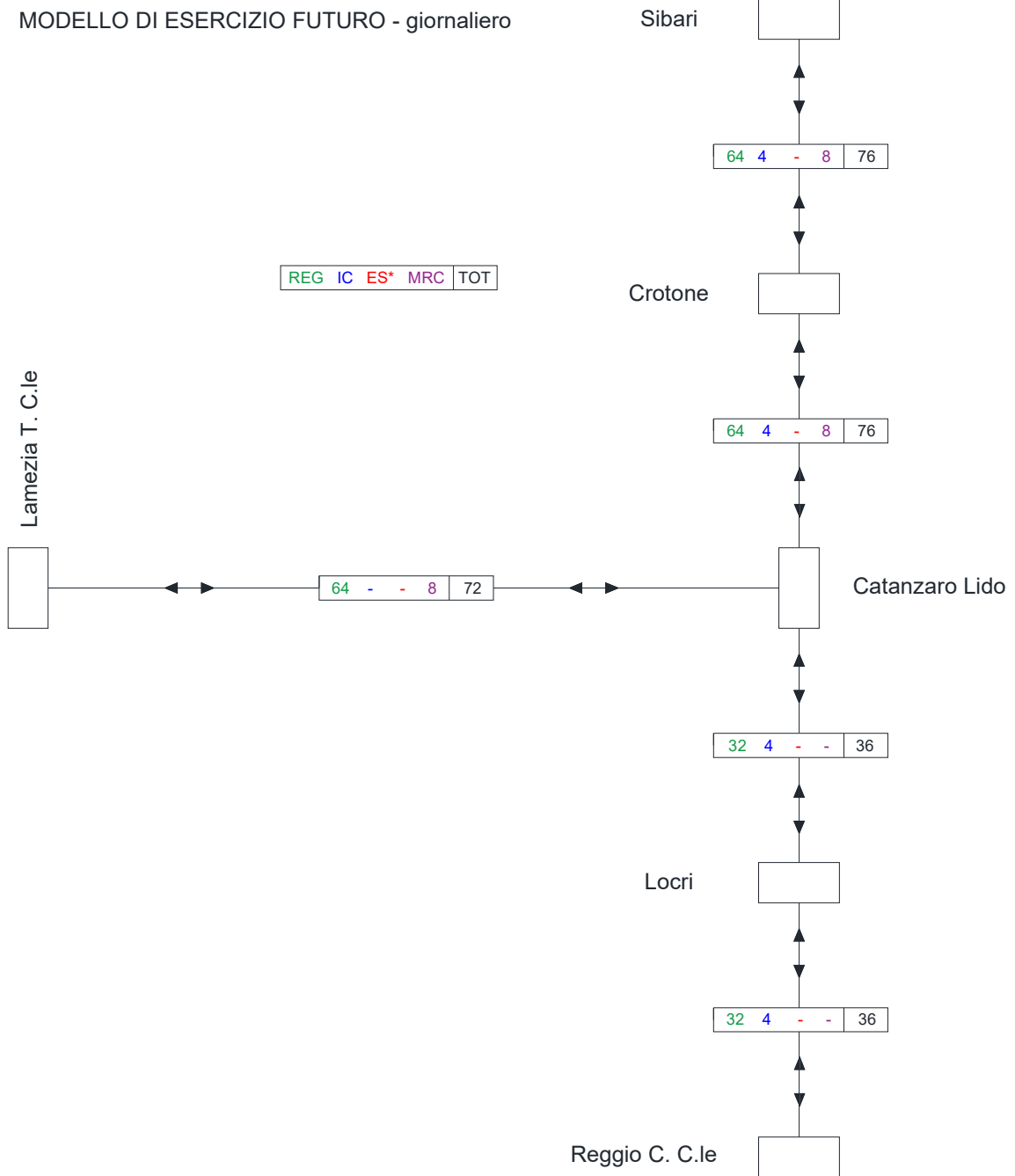


Figura 2 - Modello di esercizio diurno e notturno

MODELLO DI ESERCIZIO FUTURO diurno dalle 6 alle 22

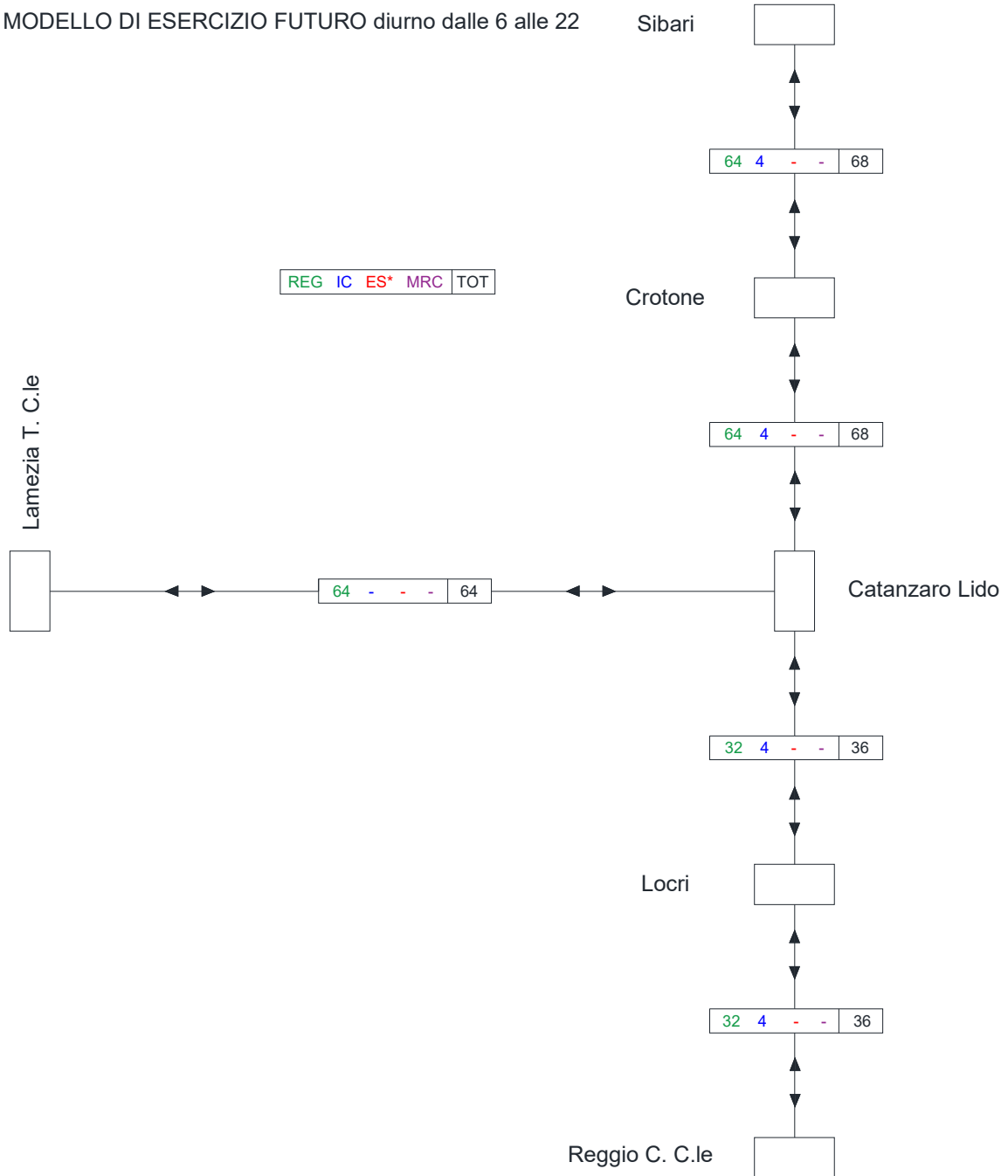


Figura 3 - Modello di esercizio diurno

MODELLO DI ESERCIZIO FUTURO notturno dalle 22 alle 6

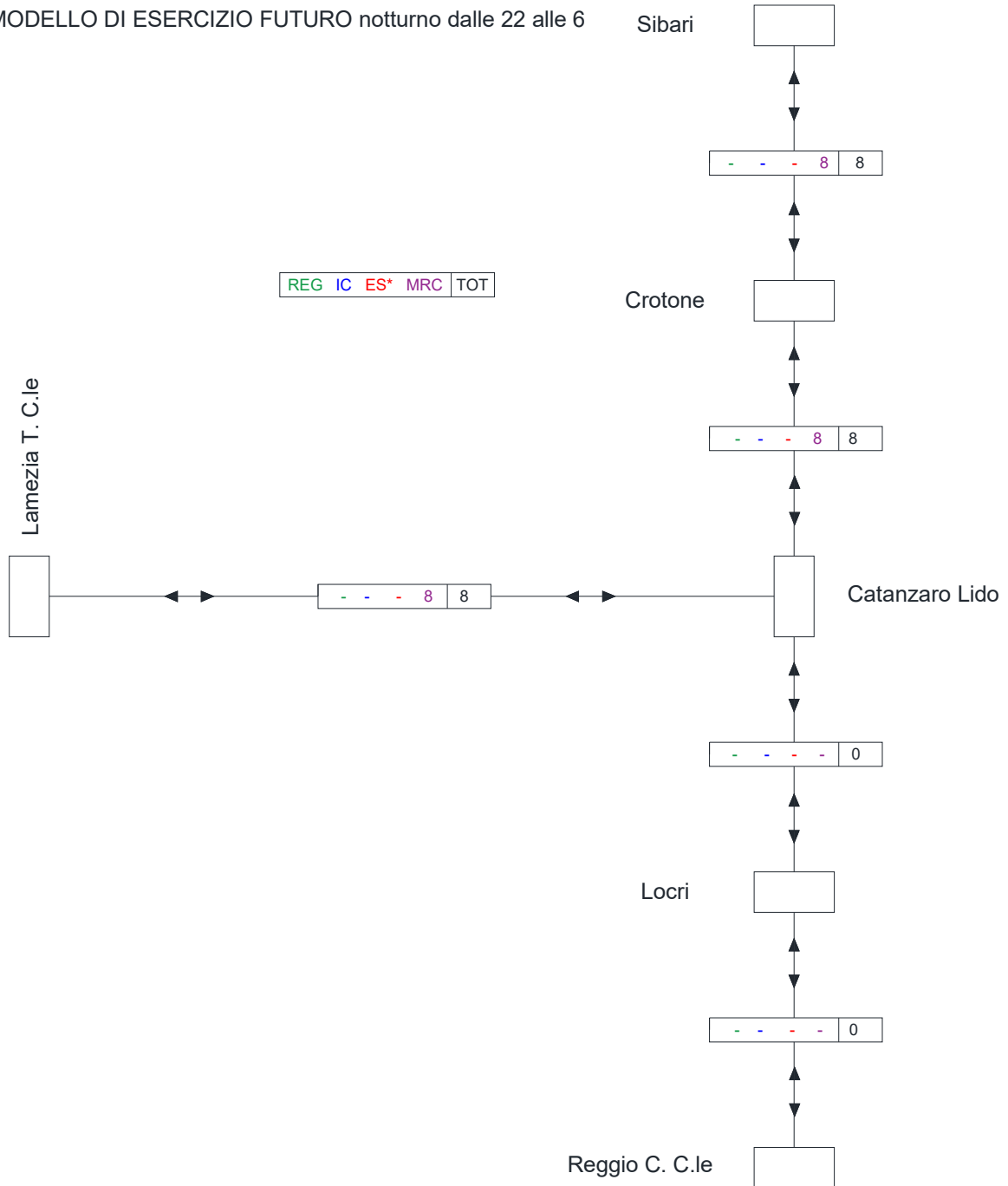


Figura 4 - Modello di esercizio notturno

MODELLO DI ESERCIZIO FUTURO diurno dalle 6 alle 22

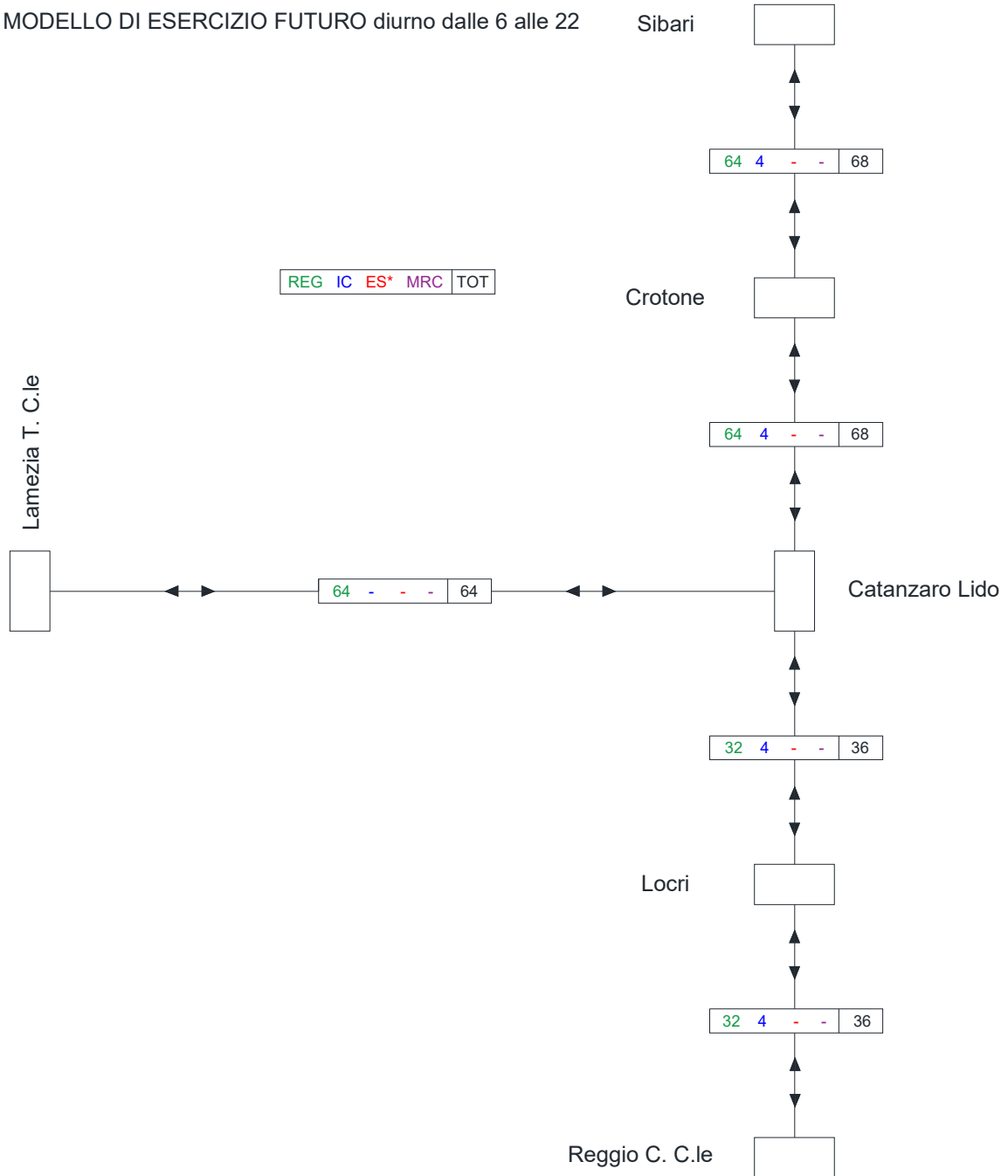


Figura 5 - Modello di esercizio diurno

Di seguito è riportato il dettaglio dell'orario di servizio, legato alla tipologia di materiale rotabile adibito a servizio passeggeri (diurno) e al servizio merci (notturno).

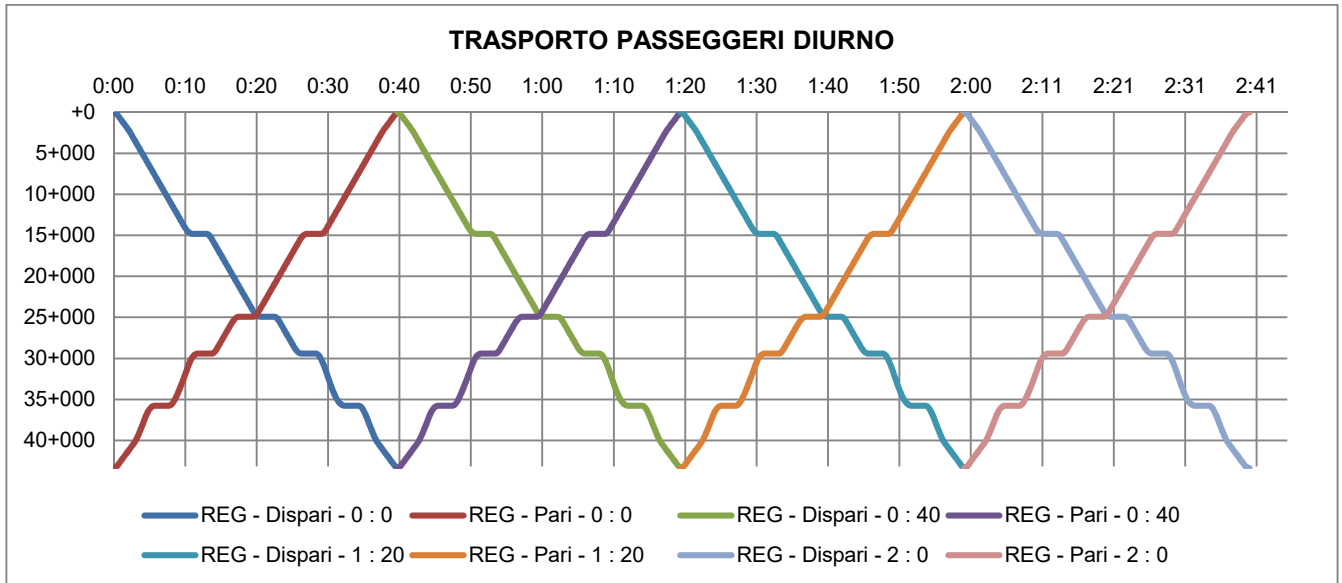


Figura 6 - Orario di servizio di punta Lamezia Terme – Catanzaro Lido

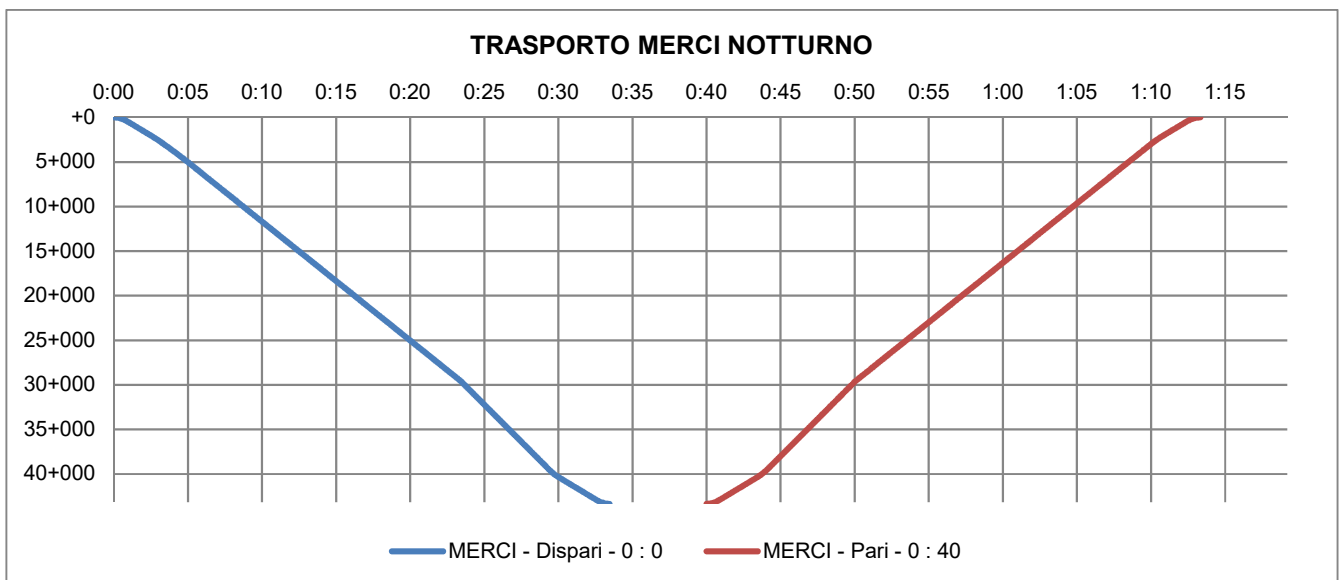


Figura 7 - Orario di servizio di punta Lamezia Terme – Catanzaro Lido

Per la verifica della conformità dei parametri elettrici di maggiore interesse (tensione al pantografo, carico SSE, riscaldamento dei conduttori) nelle condizioni di regime, si è implementato nel software l'ora di punta che scaturisce dall'orario di servizio riportato nelle figure precedenti (Figure 6,7).

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.

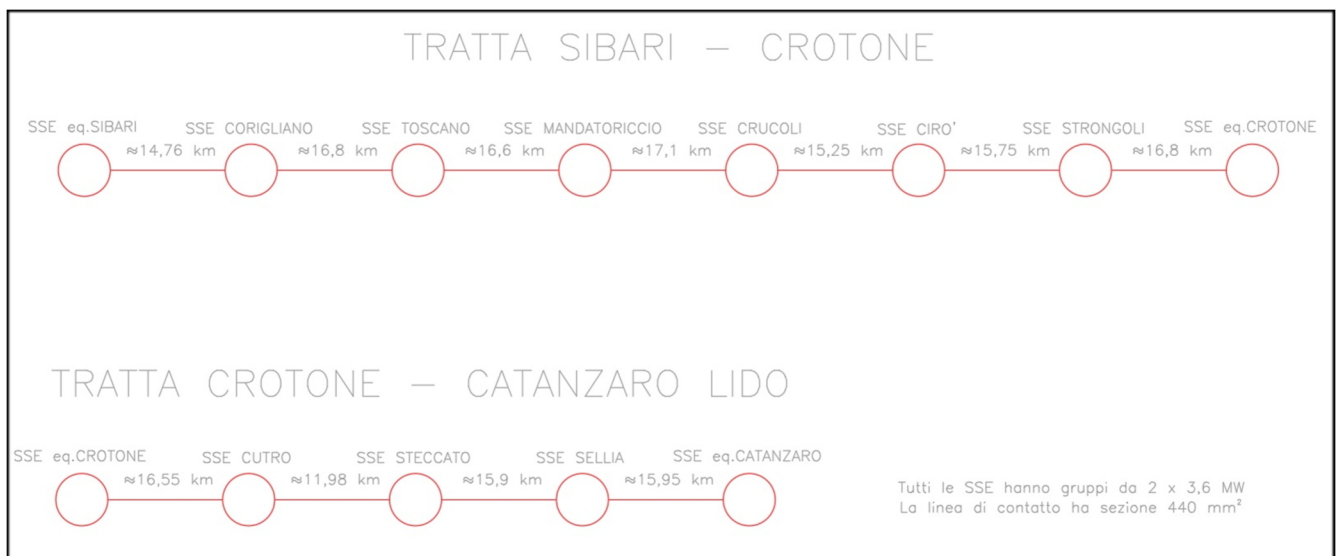


Figura 8 - Schema di alimentazione semplificato

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:

	E652+700t		E464+3/4 carrozze	
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari	Dispari	Pari
Energia totale assorbita [kWh]	899.64	1021.65	522.93	545.89
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	20.75	23.56	12.06	12.59
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	25.74	29.24	44.34	46.29
Potenza media per treno [kW]	1613.68	1838.92	779.33	812.51
Velocità media [km/h]	77.757	78.028	64.605	64.523

Tabella 4 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia Lamezia Terme – Catanzaro Lido

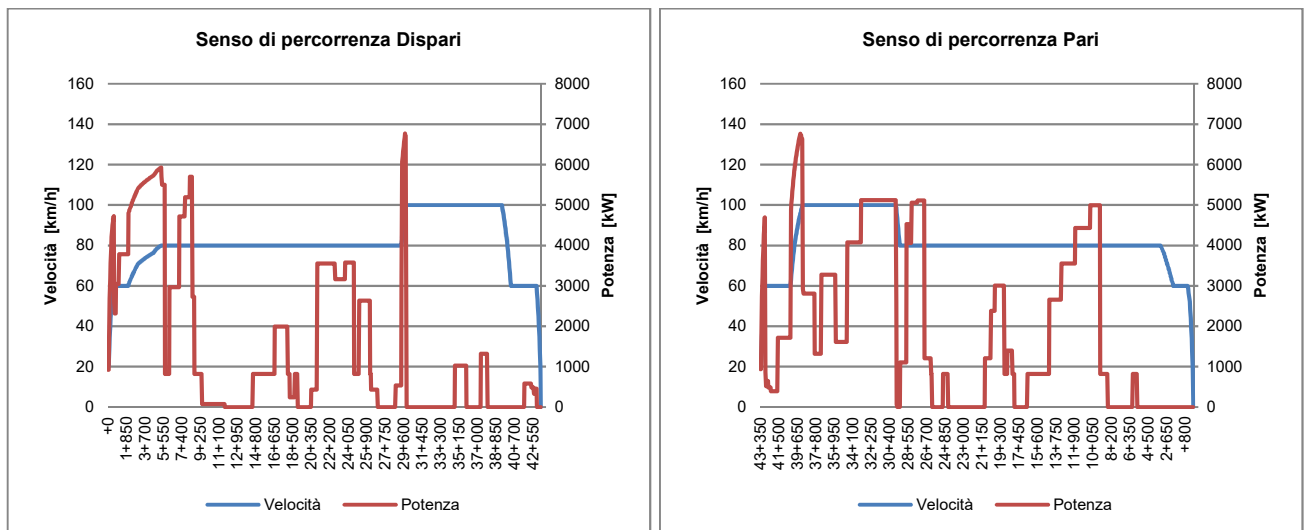


Figura 9 – E652+700t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza Senso Dispari – Lamezia Terme – Catanzaro Lido

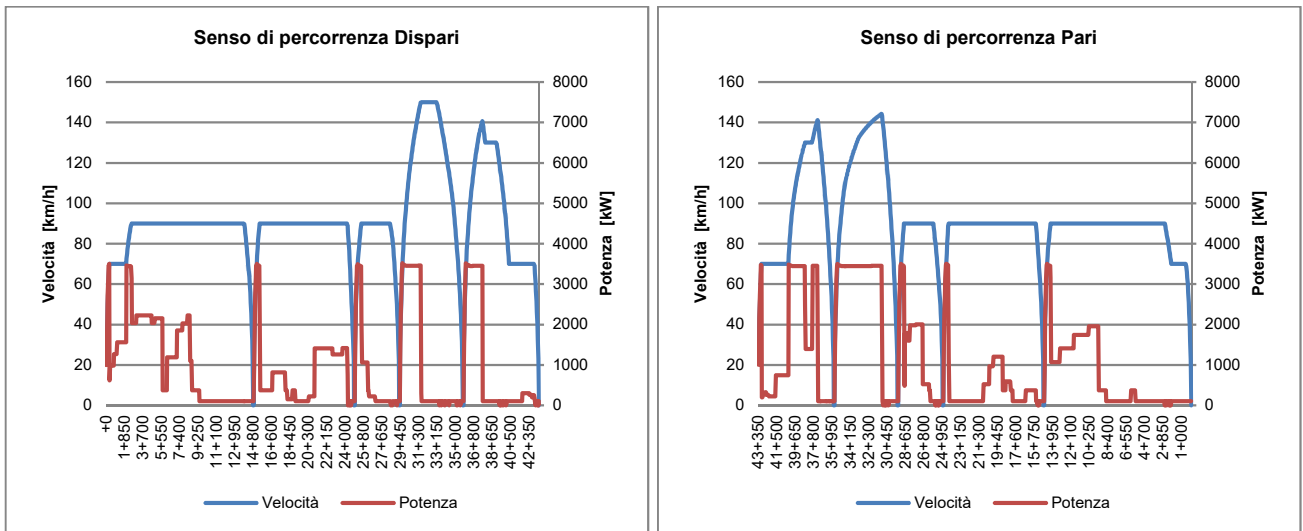


Figura 10 – E464+3/4 carrozze – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza Senso Dispari – Lamezia Terme – Catanzaro Lido

4.2.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI SISTEMA: NORMALE SERVIZIO

Le simulazioni sono state condotte 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.

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**.

	Lamezia Terme – Catanzaro Lido	
	Ora di Punta Servizio Diurno	Ora di Punta Servizio Notturno
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	2186	2011
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	12334	11511
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	2111	1922
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	11253	10902
Rendimento medio della linea di contatto [%]	96.57	95.57

Tabella 5 – Condizione normale di servizio - Risultati generali

Lamezia Terme – Catanzaro Lido	Servizio Diurno			Servizio Notturno		
	Corrente Media quadratica	Corrente Media aritmetica	Corrente Media massima	Corrente Media quadratica	Corrente Media aritmetica	Corrente Media massima
Cabina TE Lamezia eq.	103	27	864	194	59	831
SSE Sambiasse	191	110	810	337	124	1760
SSE Feroletto	224	150	1083	261	141	953
SSE Settingiano	402	260	1520	368	197	1602
SSE eq. CATANZARO LIDO	188	76	1256	187	60	1309

Tabella 6 - Condizione normale di servizio - Valori caratteristici di corrente – Lamezia Terme – Catanzaro Lido

		Lamezia Terme – Catanzaro Lido		Limiti Normativi
		Ora di Punta Servizio Diurno	Ora di Punta Servizio Notturno	
Tensione media [V]	Binario dispari	3506	3486	-
	Binario pari	3493	3434	
Tensione media utile [V]	Binario dispari	3412	3337	2700
	Binario pari	3348	3276	
Tensione minima [V]	Binario dispari	2980	3202	2000
	Binario pari	2872	2819	

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

Come risulta dalla Tabella 7, il valore di tensione minima per la tratta Lamezia Terme – Catanzaro Lido in orario diurno risulta essere per il binario dispari 2980 V mentre per il binario pari 2872 V. Per la tratta Lamezia Terme – Catanzaro Lido in orario notturno risulta essere per il binario dispari 3202 V mentre per il binario pari 2819 V. Tali valori risultano superiori ai limiti prescritti dalle normative citate.

I valori di tensione media utile, indice di qualità di tensione al pantografo, risultano tutti 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 376 A tra la SSE di Feroletto e la SSE di Settingiano nel servizio di orario diurno. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (440 mm²) ne risulta un valore

massimo di densità di corrente pari a $0,85 \text{ A/mm}^2$. Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.