

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. TECNOLOGIE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

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.

NN1X 00 D 67 SD SE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. D'Addato <i>G. D'Addato</i>	09/2020	S. Acunzo <i>S. Acunzo</i>	09/2020	M. D'Avino <i>M. D'Avino</i>	09/2020	A. Presta 09/2020 

File: NN1X00D67SDSE0000001A - RELAZIONE STI

n. Elab.: X

## 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.....	12
4.2.1	Sistema di alimentazione a 3 kV cc .....	12
4.2.2	Risultati delle simulazioni di marcia .....	13
4.2.3	Risultati delle simulazioni di sistema: Normale servizio.....	14

## 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 nuova tratta a singolo binario denominato "Prolungamento della Metropolitana di Salerno".

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

- Inizio dalla pk 5+663 km della linea storica Salerno – Battipaglia (km 0 dell'intervento di prolungamento della linea in oggetto), corrispondente alla stazione di Arechi esistente
- fine dalla pk 14+625 km della linea storica Salerno – Battipaglia (km 8+967 dell'intervento di prolungamento della metropolitana), corrispondente alla nuova stazione Aeroporto Costa d'Amalfi

Per ulteriori dettagli sul tracciato di progetto si faccia riferimento agli elaborati specialistici richiamati 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. 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 (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:

**NN1X00D67ROSE0000001** - Relazione tecnica generale Sottostazioni Elettriche

**NN1X00D67DXLC0000001** - Schema di alimentazione TE 3 kVcc

**NN1X00D67RGLC0000001** - Relazione tecnica generale Linea di Contatto

**NN1X00D16RGES0001001** - Relazione tecnica generale di esercizio

**NN1X00D78P7IF0000001** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000002** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000003** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000004** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000005** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000006** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000007** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000008** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000009** - Plano-profilo generale di progetto

**NN1X00D78P7IF0000010** - Plano-profilo generale di progetto

### 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<sub>cc</sub>. 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 320 mm<sup>2</sup>, la densità di corrente risulta pari a 1,25 A/mm<sup>2</sup>;

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 <sup>(b)</sup>	Si <sup>(b)</sup>	Si	?	/	/	/	Si	/	Si	/	/	Si	/	/	Si	Si		
15 000 V c.a. 16,7 Hz	Si	Si	Si	Si <sup>(b)</sup>	/	Si	/	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Si <sup>(b)</sup>	/	/	Si	/	/			
3 000 V c.c. <sup>(a)</sup>	<sup>(a)</sup>	<sup>(a)</sup>	Si	/	?	/	No	/	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	Si	/	/	/	/	a	/	/	Si	Si			
1 500 V c.c. <sup>(a)</sup>	/	<sup>(a)</sup>	Si	/	/	/	No	/	Si	/	/	Si	/	/	/	Si	/	/	/	/	Si	/	/	?	/	/	/			
750 V c.c. <sup>(a)</sup>	/	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 plano-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 9 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:

<b>Categoria treno</b>	<b>Regionale</b>
Tipo di treno	ETR 425
Velocità max.	160 km/h
Tensione nominale linea	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	100 kW
Massa Complessiva	204 t
Rendimento Locomotiva	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05
Decelerazione costante in piano	0,4 m/s <sup>2</sup>

**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 320 mm<sup>2</sup> come rappresentato in Figura 3.

#### 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.

<b>SSE/Cabina TE di progetto</b>	
<b>Nome</b>	<b>Potenza installata</b>
SSE Pontecagnano	2 x 3,6 MW
<b>SSE Limitrofe</b>	
<b>Nome</b>	<b>Potenza installata</b>
SSE Salerno	2 x 5,4 MW
SSE Battipaglia	2 x 5,4 MW

**Tabella 2 - Elenco Sottostazioni Elettriche**

Le caratteristiche elettriche delle apparecchiature presenti nella nuova SSE di progetto sono elencate di seguito:

	<b>Singolo Gruppo da 3,6 MW</b>
Potenza nominale Trafo [kVA]	3880/2x1940
Caratteristiche di sovraccarico "Potenza"	200% P <sub>n</sub> = per 2h 300% P <sub>n</sub> = per 5'
Tensione nominale [V]	3600
Corrente nominale [A]	1000
Corrente Ammissibile per 2h [A]	2000
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:

*NN1X00D16RGES0001001 - Relazione tecnica generale di esercizio*

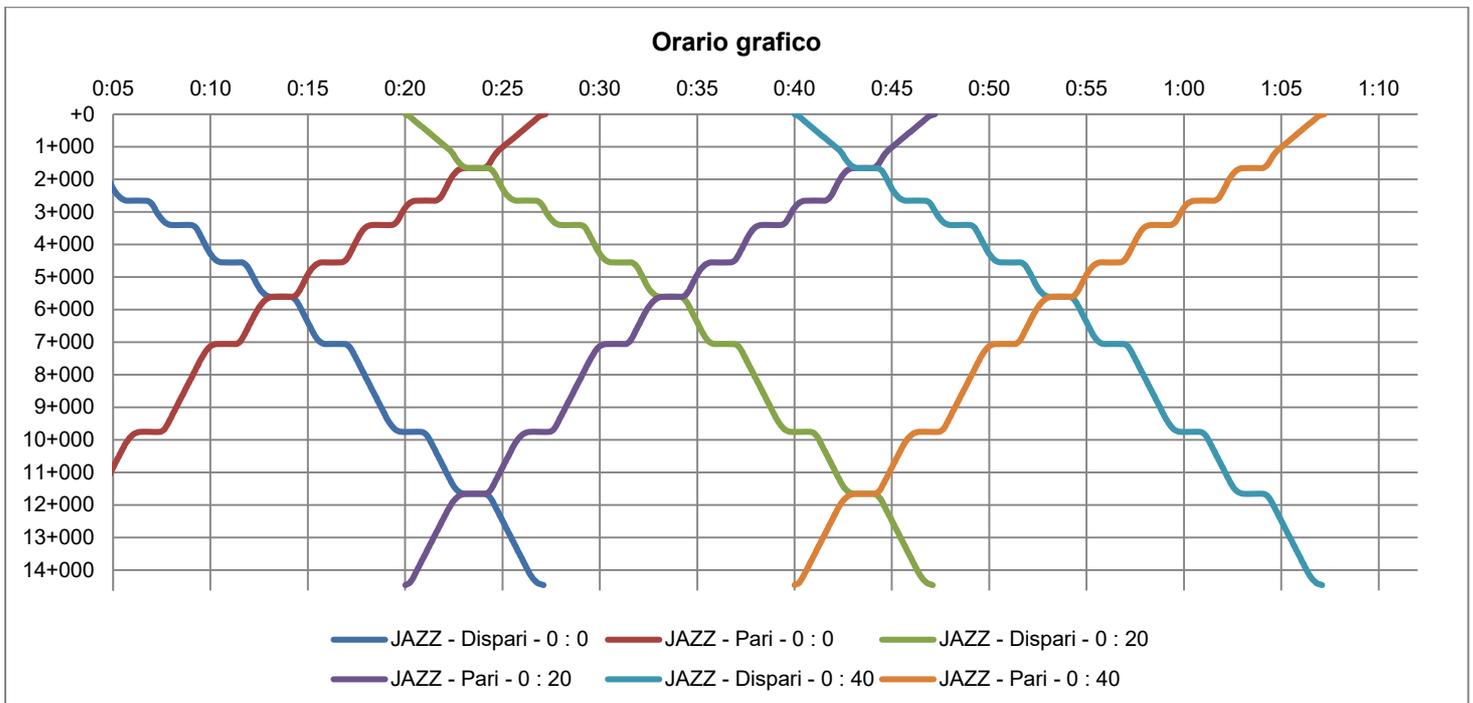
Tale modello di esercizio prevede sulla linea di progetto:

- 3 treni/h regionali per senso di marcia

Viceversa, sulla linea Salerno – Battipaglia attualmente in esercizio, il modello di esercizio estrapolato tramite PIC prevede:

- 33 coppie di treni regionali, per un totale di 66, di cui 58 treni diurni e 8 notturni
- 15 treni merci, di cui 12 diurni e 3 notturni
- 26 treni IC, di cui 19 diurni e 7 notturni
- 11 treni ES, tutti diurni

In Figura 2 - Orario di punta



**Figura 2 - Orario di punta**

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 2.

## 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:

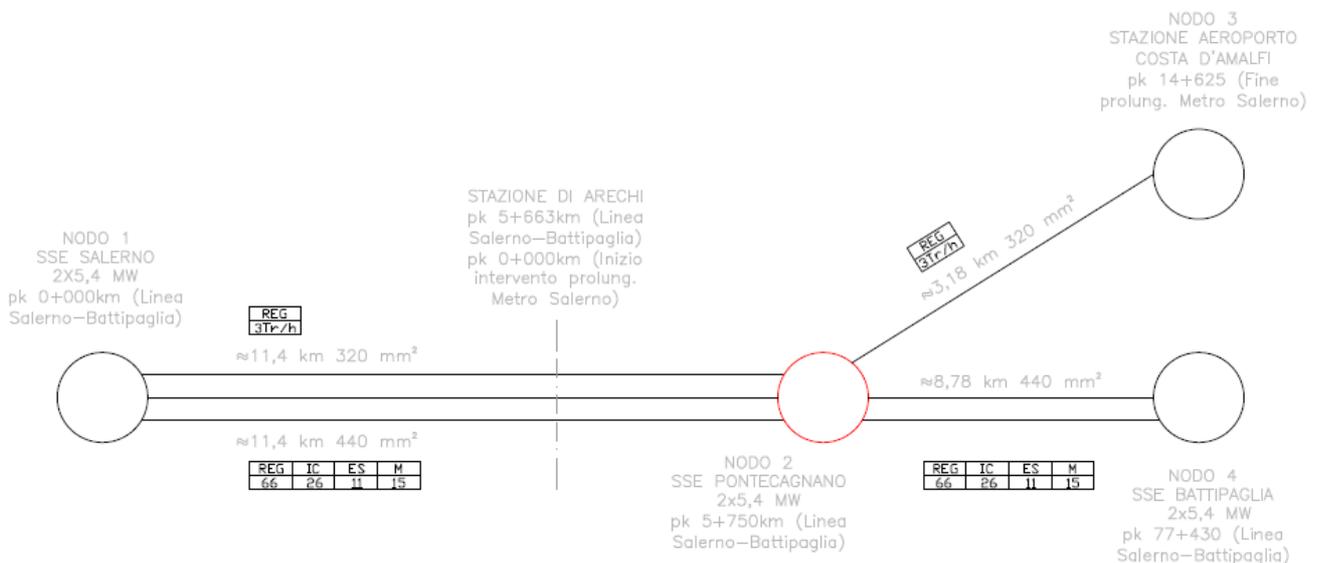


Figura 3 - Schema di alimentazione semplificato

#### 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:

	ETR 425	
	Senso di percorrenza Dispari	Senso di percorrenza Pari
Energia totale assorbita [kWh]	198,08	170,52
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	13,7	11,8
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	67,19	57,84
Potenza media per treno [kW]	438,71	376,18
Velocità media [km/h]	32	31,878

Tabella 4 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia

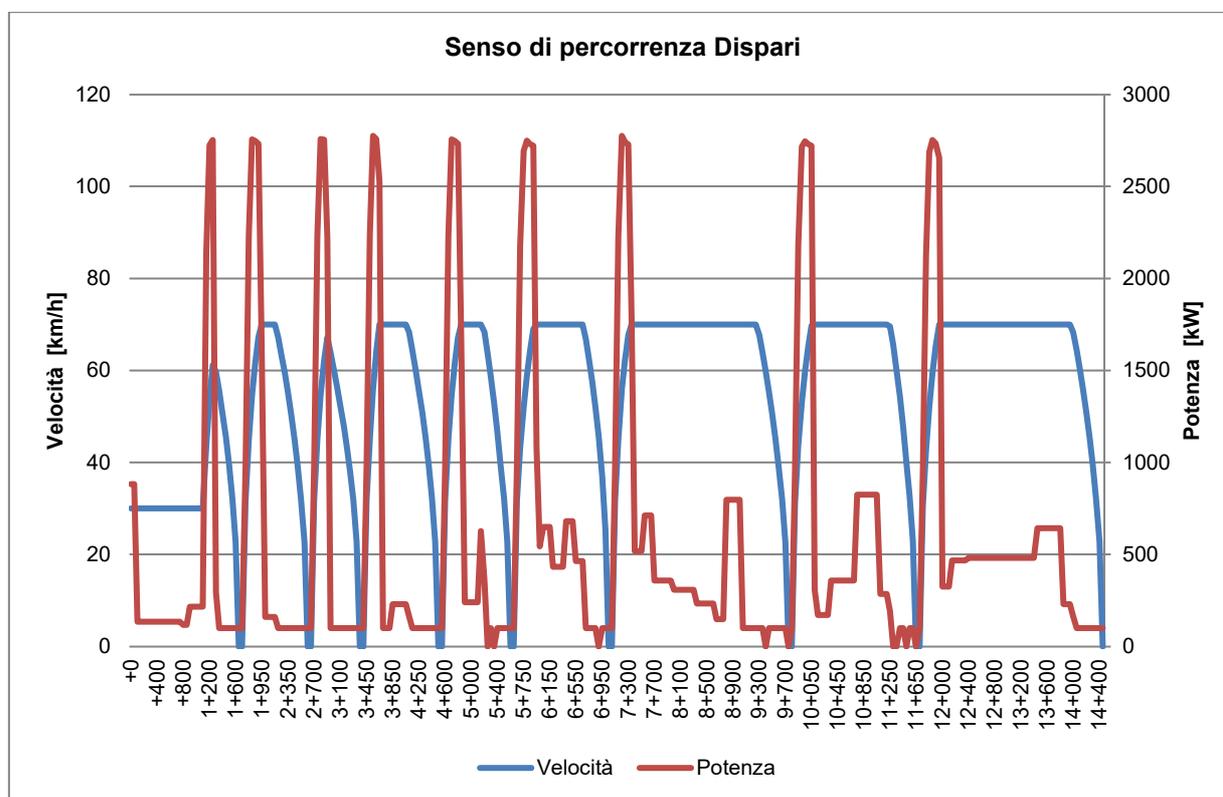
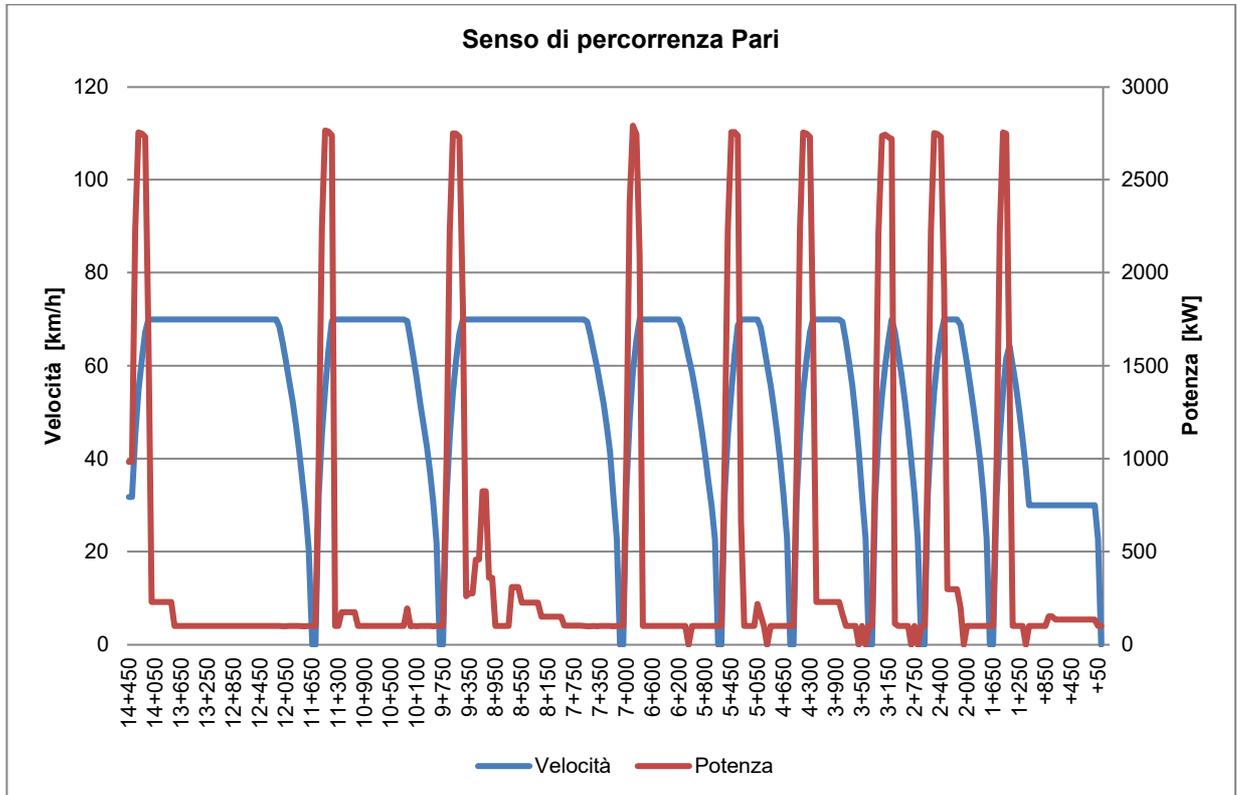


Figura 4 – ETR425 – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza Senso Dispari



**Figura 5 – ETR425 – 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 Salerno - 2 x 5,4 MW
- SSE Battipaglia - 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.

	<b>Normale servizio (Ora di Punta)</b>
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	851
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	8655
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	829
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	8526
Rendimento medio della linea di contatto [%]	97,41

**Tabella 5 – Condizione normale di servizio - Risultati generali**

	<b>Corrente Media quadratica</b>	<b>Corrente Media aritmetica</b>	<b>Corrente Media massima</b>
SSE Pontecagnano	259	145	1728

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

		<b>Normale servizio (Ora di Punta)</b>	<b>Limiti Normativi</b>
Tensione media [V]	<b>Binario Dispari</b>	3488	-
	<b>Binario Pari</b>	3487	
Tensione media utile [V]	<b>Binario Dispari</b>	3396	2700
	<b>Binario Pari</b>	3387	
Tensione minima [V]	<b>Binario Dispari</b>	3024	2000
	<b>Binario Pari</b>	3022	

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

Come risulta dalla Tabella 7, il valore di tensione minima sul binario è di 3024V, mentre il valore di tensione media utile sul binario, indice della qualità di tensione al pantografo, è di 3396 V; si conclude pertanto che entrambe i valori ottenuti risultano essere conformi ai limiti prescritti dalle normative citate.

Il valore più alto di corrente media quadratica registrato nelle sezioni elettriche oggetto della simulazione è pari a 1728A. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (320mm<sup>2</sup>) ne risulta un valore massimo di densità di corrente pari a 5,4 A/mm<sup>2</sup>. Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.