

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. ENERGIA E TRAZIONE ELETTRICA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA POTENZA-METAPONTO

INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO-BERNALDA

IMPIANTI DI SSE E CABINE TE

SSE BERNALDA

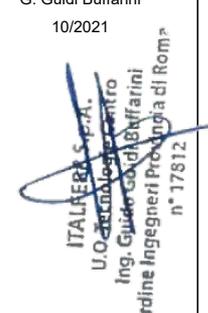
Studio di dimensionamento elettrico

SCALA:

- : -

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

IA95 03 R 18 SD SE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S. Acunzo <i>S. Acunzo</i>	10/2021	N. Carones <i>N. Carones</i>	10/2021	I. D'Amore <i>I. D'Amore</i>	10/2021	G. Guidi Buffarini 10/2021 

File: IA9503R18SDSE0000001A.dwg

n. Elab.: X

Indice

1. Generalità	2
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.....	13
4. Architettura del sistema elettrico	14
5. Risultati delle simulazioni di marcia	17
6. Verifica del sistema elettrico di alimentazione	20
6.1 Sistema di alimentazione a 3 kV cc.....	20
6.2 Risultati delle simulazioni di sistema	21
6.2.1 SERVIZIO NORMALE	21
6.2.2 Servizio DEGRADATO.....	24
7. Conclusioni	28

1. Generalità

La presente relazione tecnica illustra i risultati dell'analisi di dimensionamento delle installazioni fisse di trazione elettrica destinate all'alimentazione della Linea ferroviaria Potenza – Metaponto. Ad oggi la linea risulta essere circa 110 km e sarà oggetto di interventi di velocizzazione negli anni a venire su tutta la tratta. La linea si presenta a singolo binario con linea di contatto di sezione equivalente 440 mmq.

Nell'ambito più generale degli interventi di velocizzazione della linea Potenza – Metaponto è stata eseguita la suddivisione nei seguenti lotti funzionali :

- Lotto 1 : Potenza Centrale – Albano;
- Lotto 2 : Albano – Calciano;
- Lotto 3 : Calciano – Metaponto.

All'interno del perimetro dei lotti funzionali sopra elencati , è stata individuata come prioritaria la tratta compresa tra le stazioni di Grassano e Bernalda ricadenti nel lotto 3. Pertanto in una prima fase saranno previste tutte le opere per la velocizzazione del tracciato compreso nella tratta tra le stazioni di Grassano e Ferrandina (esclusa) e adeguamento degli impianti di stazione di Grassano, Salandra, Pisticci e Bernalda. La linea di contatto sarà adeguata alla sezione complessiva di 540 mmq nei tratti oggetto di intervento.

Sulla base del carico elettrico, costituito dal traffico ferroviario, è stata dimensionata/analizzata l'architettura del sistema di alimentazione finalizzata al potenziamento della stessa. 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 completo degrado ciclico delle SSE.

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:

2014/1301/UE STI - 2018/868/UE - 2019/776/UE

Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «**Energia**» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dalla Rettifica del 20 Gennaio 2015, dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 della Commissione del 13 giugno 2018, dalla Rettifica del 16 maggio 2019 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

- EN 50119** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Impianti fissi
Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
Edizione 2021;
- 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;

EN 50367 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Sistemi di captazione della corrente

Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (per ottenere il
libero accesso);

Edizione 2013;

EN 50367/A1 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Sistemi di captazione della corrente

Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (per ottenere il
libero accesso);

Edizione 2017;

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

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

MdE IA9503R16RGES0001001A

Ferrovie dello Stato S.p.A. RFI – Direzione Territoriale Produzione Bari

Piano di ubicazione delle SSE – Schema di alimentazione
TE;

Fascicolo Linea n°135 Linee: POTENZA CENTRALE -BRINDISI
PM CAGIONI – BELLAVISTA

Ed. Dicembre 2003 – CT 22/2019

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 è fondato sul Modello di Esercizio che costituisce il carico elettrico alla base della simulazione.

La tratta è caratterizzata esclusivamente da un traffico passeggeri, di tipo Regionale, Intercity e Eurostar, per un totale complessivo di 12 treni al giorno (Figura 1, Figura 2, Figura 3).

Di seguito anche la suddivisione in traffico giornaliero e notturno.

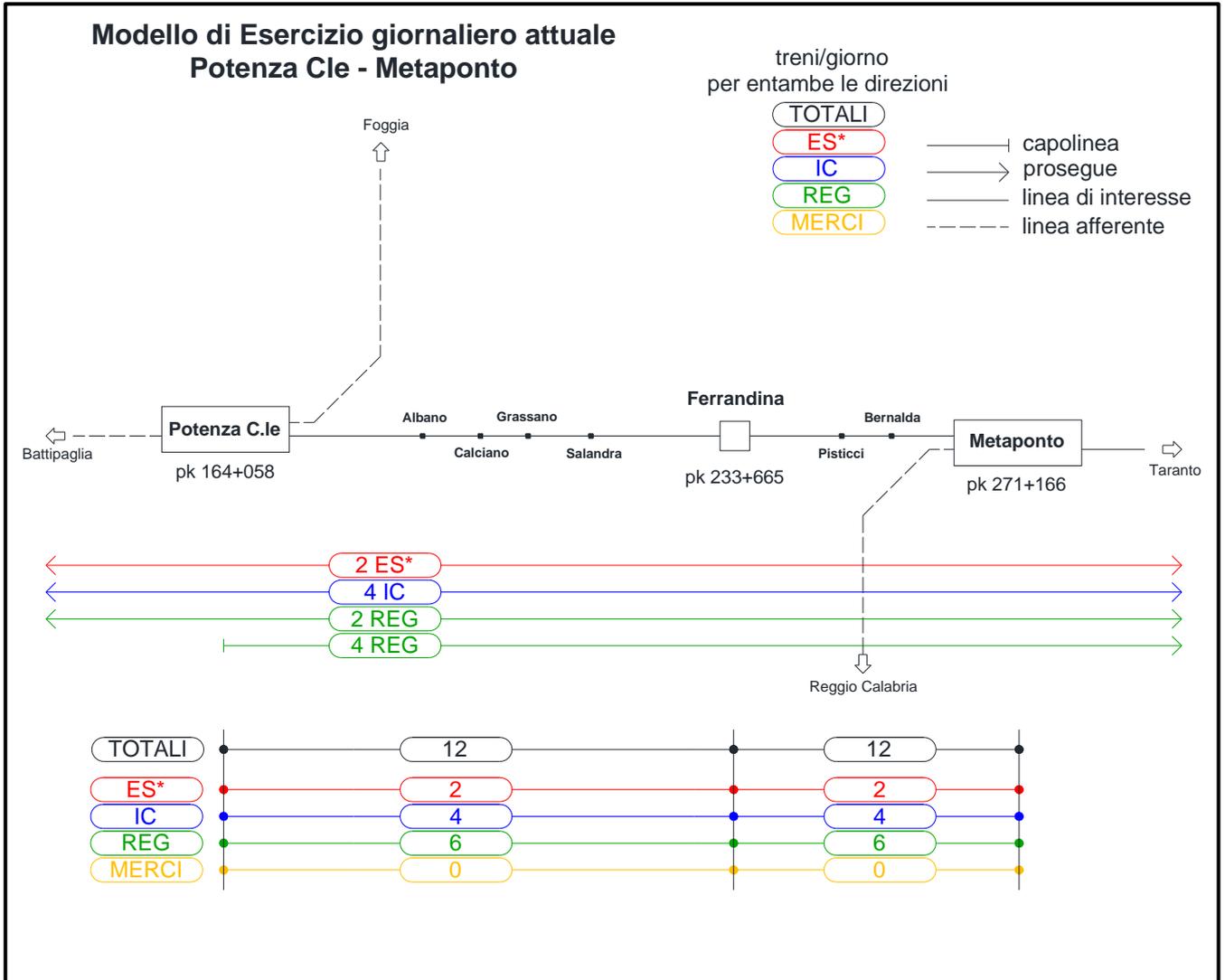


Figura 1 - MdE attuale giornaliero

Modello di Esercizio diurno attuale (6-22) Potenza Cle - Metaponto

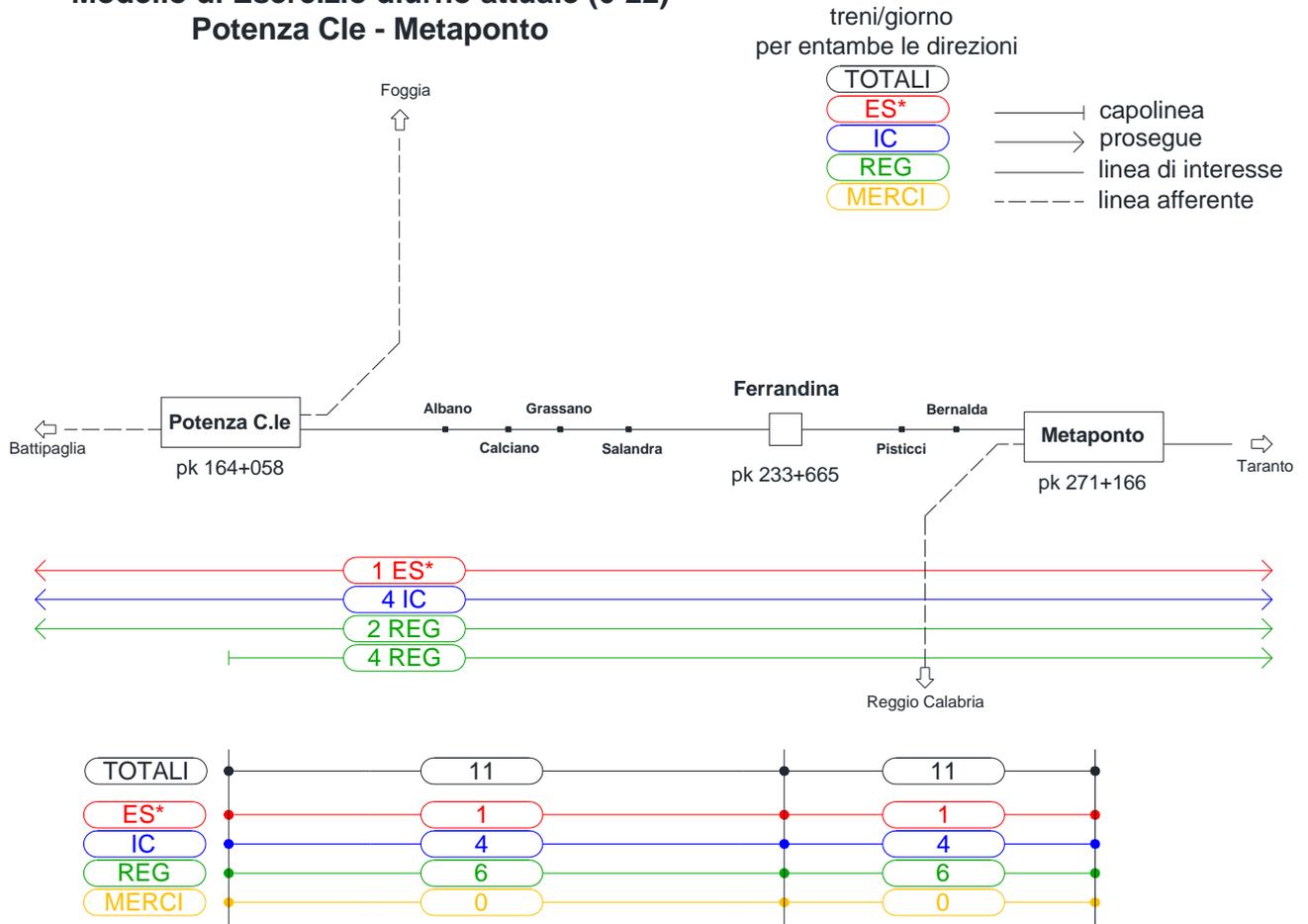


Figura 2 - MdE attuale diurno 6-22

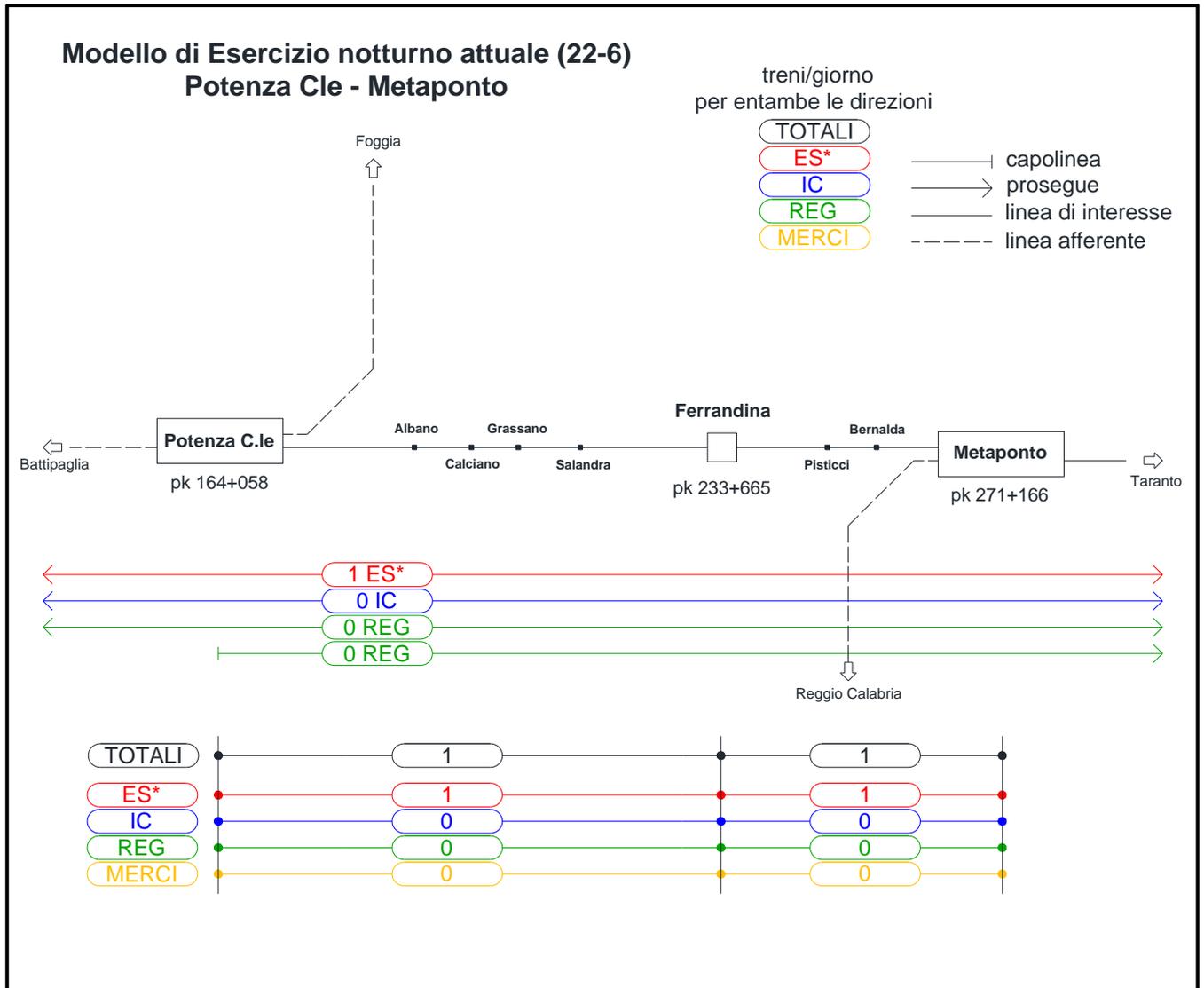


Figura 3 - MdE attuale notturno 22-6

Il modello di esercizio di progetto prevederà un cospicuo aumento di treni dei servizi passeggeri sulla intera tratta Potenza - Ferrandina - Metaponto. <aumenteranno anche i treni intercity ed AV per servire il nuovo collegamento Ferrandina - Matera La Martella e inoltre verranno aggiunti dei treni merci. Di seguito si riporta il modello di esercizio di progetto.

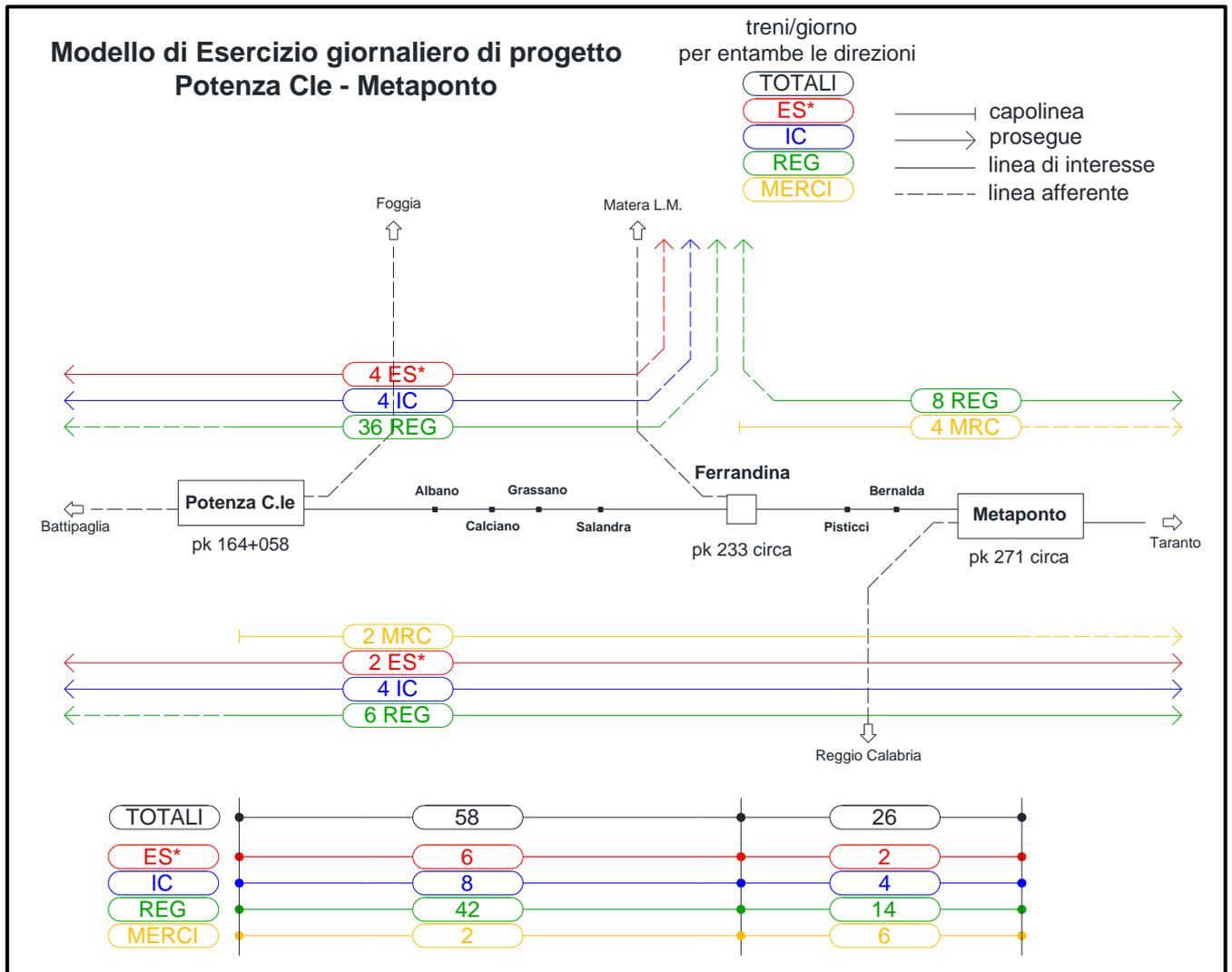


Figura 4 - MdE di progetto giornaliero

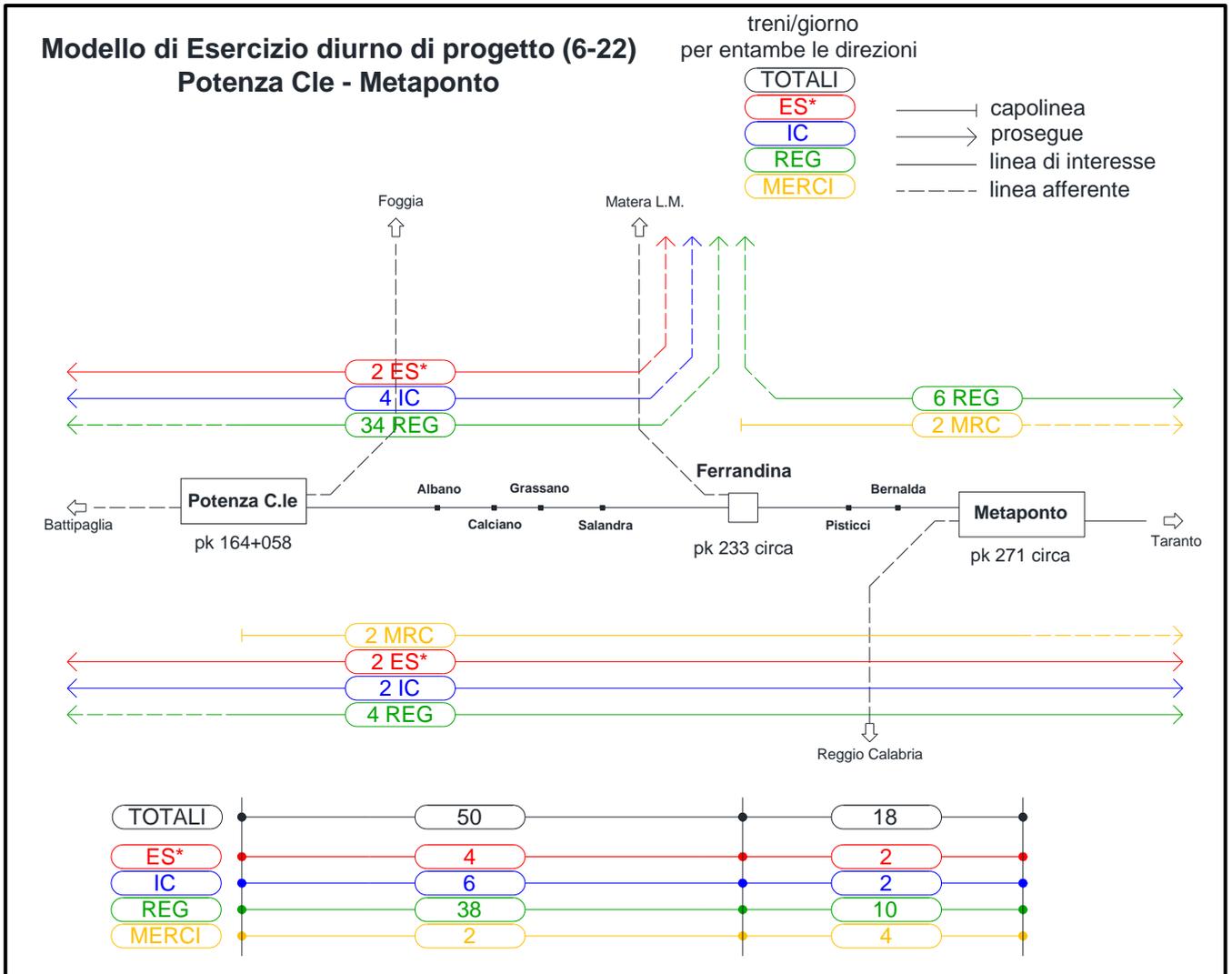


Figura 5 - MdE di progetto servizio diurno 6-22

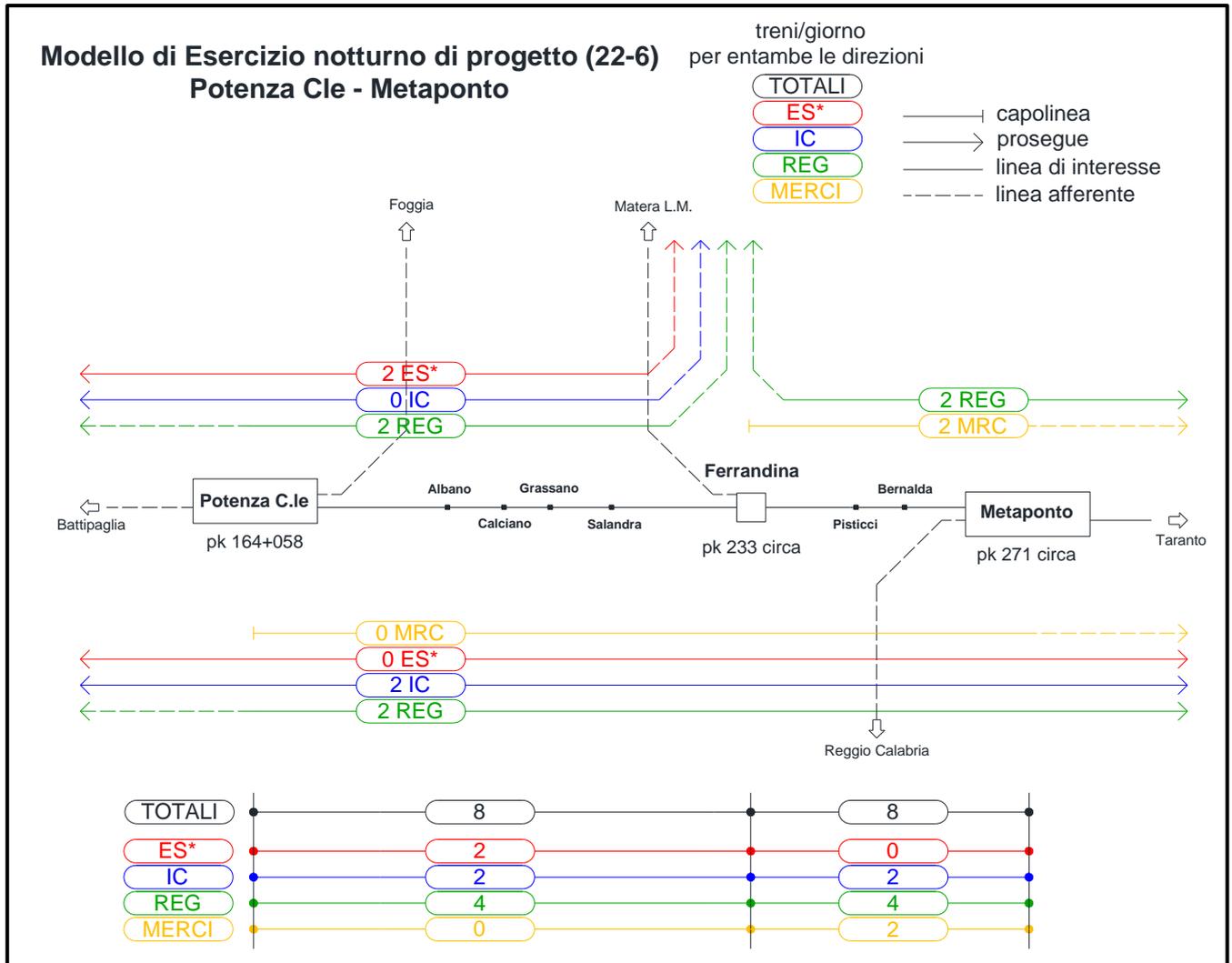


Figura 6 - MdE di progetto servizio notturno

Il materiale rotabile da considerare risulta essere :

- ES* : ETR1000 / AGV 575
- IC : E402B + 8 CARROZZE
- REG : E464 + 4 CARROZZE, POP , ROCK
- MERCI : E652 + 1300t

Si fa presente che sulle linee in oggetto si ha una limitazione in corrente di 2400A per qualsiasi tipologia di materiale rotabile.

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 uno scenario di traffico rappresentato nel grafico di figura sottostante:

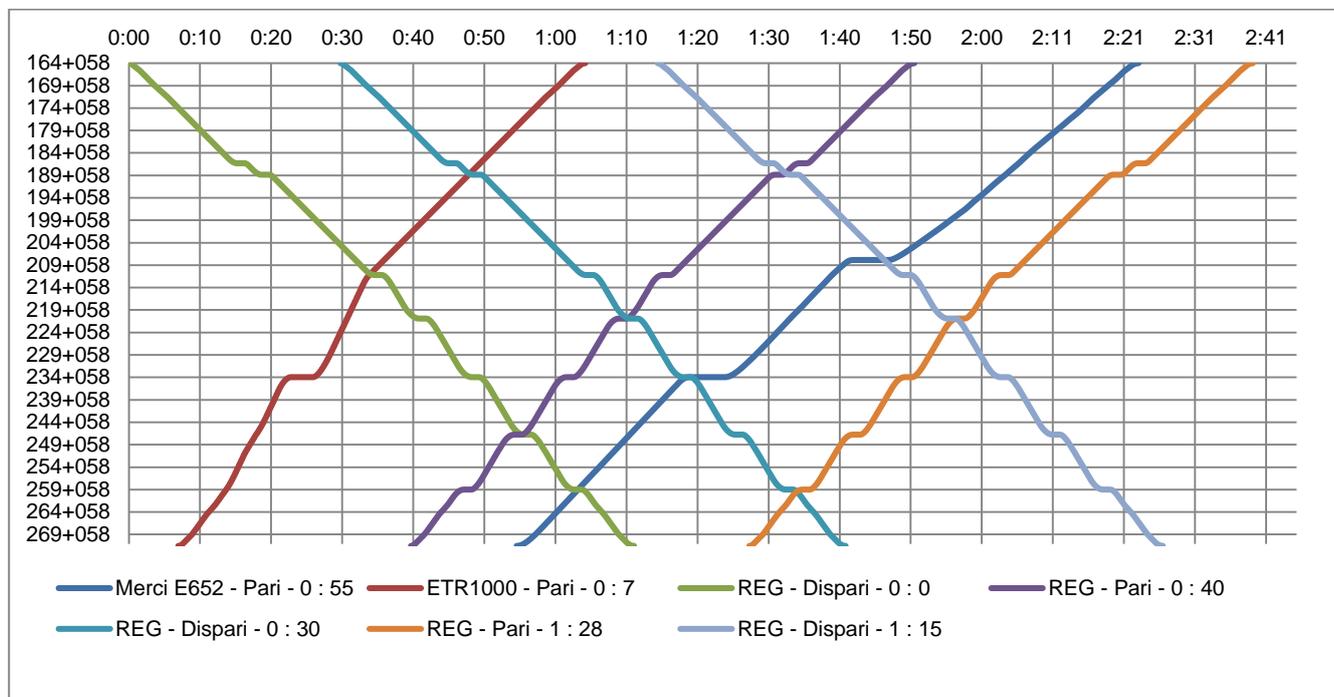


Figura 7 - orario grafico ora di punta

3.3 CARATTERISTICHE DEL MATERIALE ROTABILE

Il traffico ferroviario implementato nel programma di calcolo, previsto a seguito dell'ammodernamento della Linea, è costituito da due differenti tipologie di materiale rotabile.

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

Caratteristiche del materiale rotabile impiegato				
Categoria treno	R	IC	AV	Merchi
Tipo di treno	E464+4CAR	E402B+8CAR	ETR1000	E652 + 1300t
Velocità d'impostazione	160 km/h	220 km/h	300 km/h	160 km/h
Tensione nominale linea	3000 V	3000 V	3000 V	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	100 kW	75 kW	400kW	75 kW
Massa Complessiva	72 t + 160t	87 t + 416t	500t	106 t+1300t
Rendimento Locomotiva	0,85	0,85	0,85	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05	1,05	1,05	1,05
Decelerazione costante in piano	0,4 m/s ²	0,4 m/s ²	0,5 m/s ²	0,3 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, dovrà prevedere i seguenti impianti:

- SSE Vaglio 1x 5.4 MW esistente;
- SSE Trivigno 2 x 5.4 MW nuovo;
- SSE Campomaggiore 1x 5.4 MW esistente;
- SSE Grassano 2 x 5.4 MW nuovo;
- SSE Salandra 1x 5.4 MW esistente;
- SSE Ferrandina 2 x 5.4 MW nuovo ma in altro appalto;
- SSE Pisticci 1 x 5.4 MW esistente;
- SSE Bernalda 2 x 5.4 MW nuovo;
- SSE Metaponto 1 x 3.6 MW esistente;

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

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

Tabella 2 - Caratteristiche elettriche apparecchiature di SSE

La sezione prevista delle condutture di contatto sarà di 540 mm² nella tratta Potenza - Metaponto.

In Figura 8 è riportato lo schema di alimentazione semplificato implementato nel software di alimentazione.

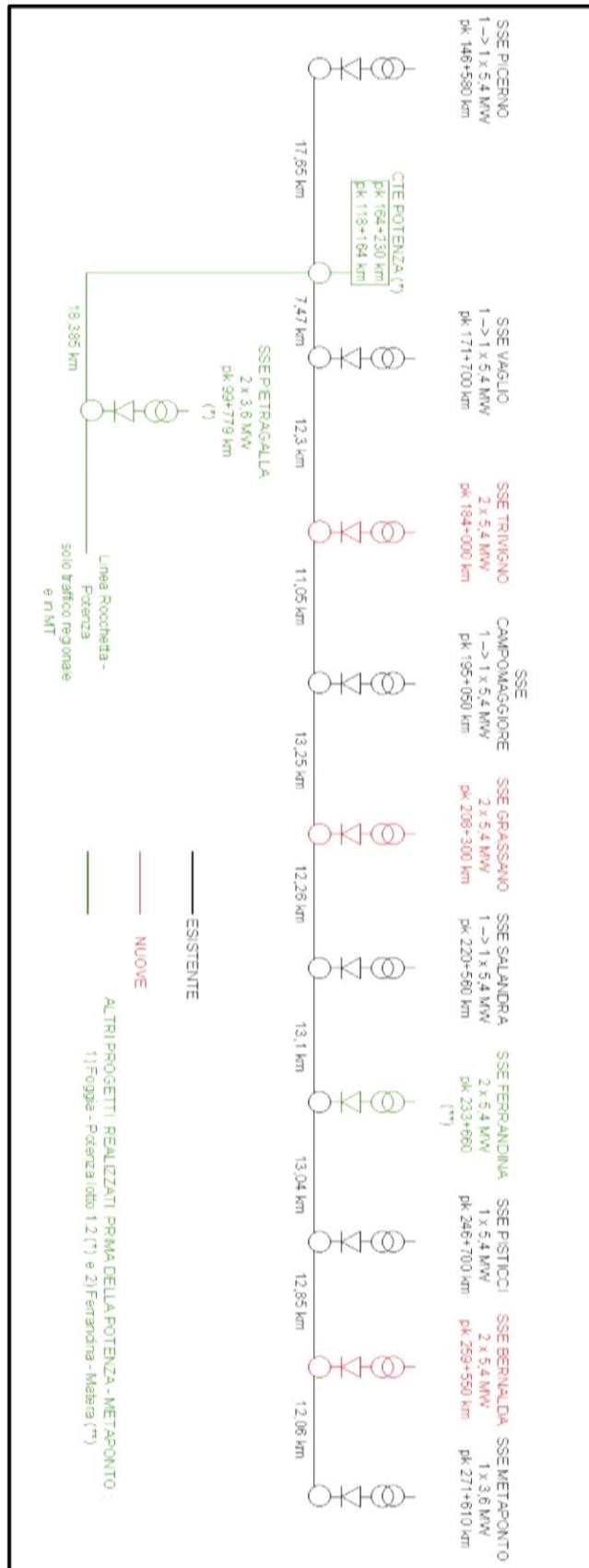


Figura 8 - Schema elettrico di alimentazione semplificato

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:

	E464+4CARR		E402B+8CARR		ETR1000 lim. 2400A		E652+1300t	
	Senso percorrenza		Senso percorrenza		Senso percorrenza		Senso percorrenza	
	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari
	1:11:38	1:11:24	1:02:54	1:03:09	0:57:50	0:58:02	1:17:20	1:19:26
Energia totale assorbita [kWh]	737.73	1452.17	1390.73	2931.95	1272.59	2714.39	1246.55	5945.5
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	6.85	13.5	12.93	227.26	11.83	25.23	11.59	55.28
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	29.56	58.19	25.7	54.19	23.66	50.47	8.24	39.31
Potenza media per treno [kW]	617.92	1220.29	1326.38	2785.39	1320.1	2806.07	967.12	4490.62
Velocità media [km/h]	90.084	90.377	102.574	102.174	111.566	111.183	83.441	81.232

Tabella 3 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia

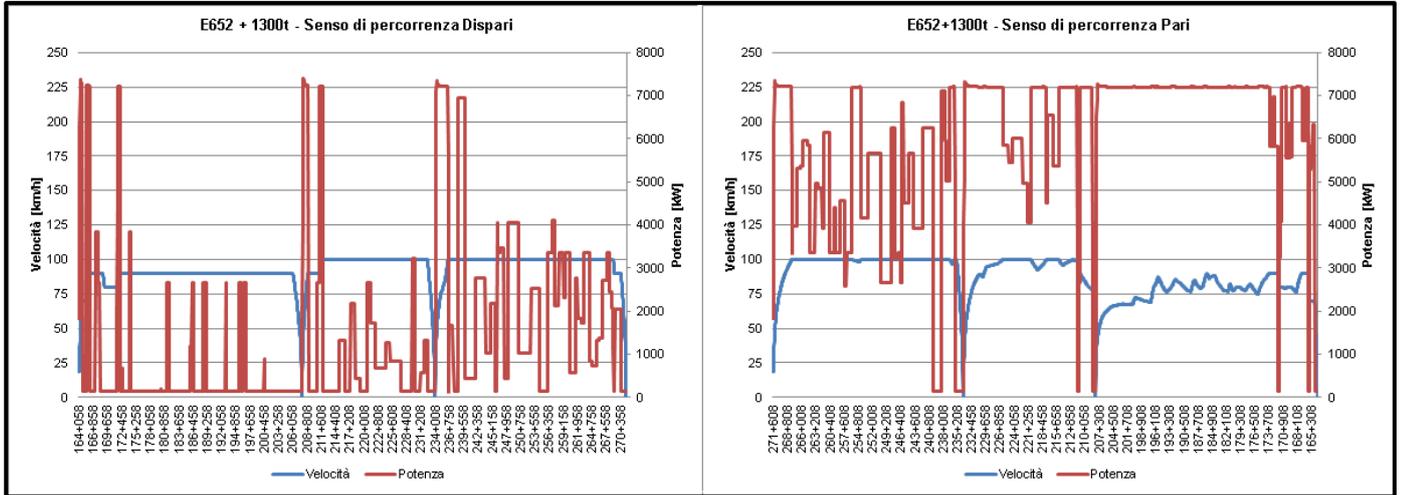


Figura 9 - Caratteristiche spazio/velocità e spazio/potenza – E652+1300t

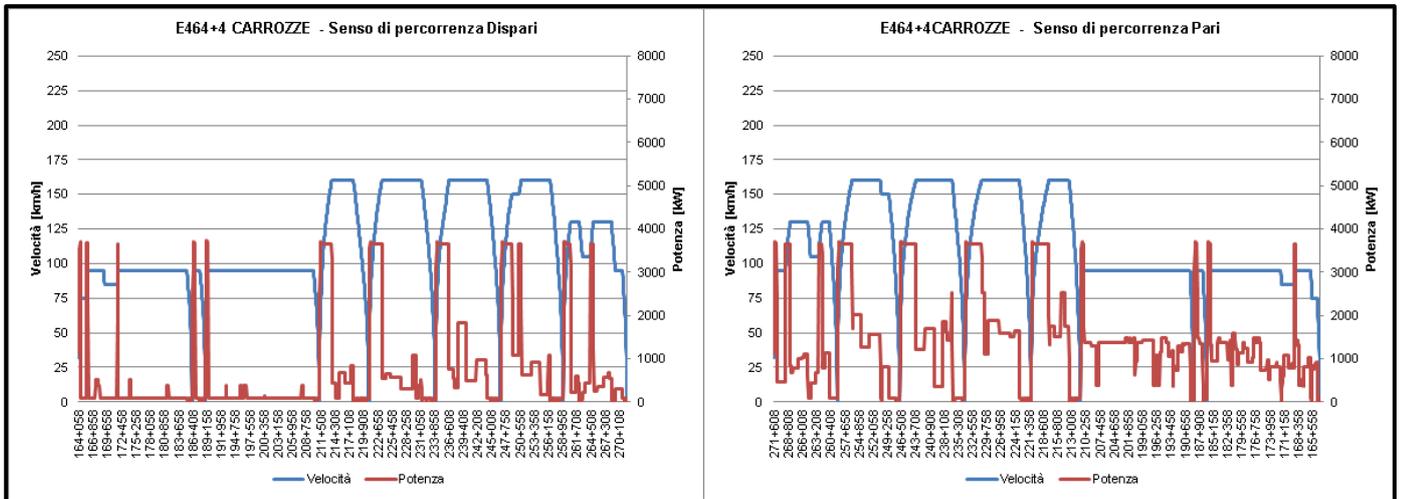


Figura 10 – Caratteristiche spazio/velocità e spazio/potenza – E464 + 4 carrozze

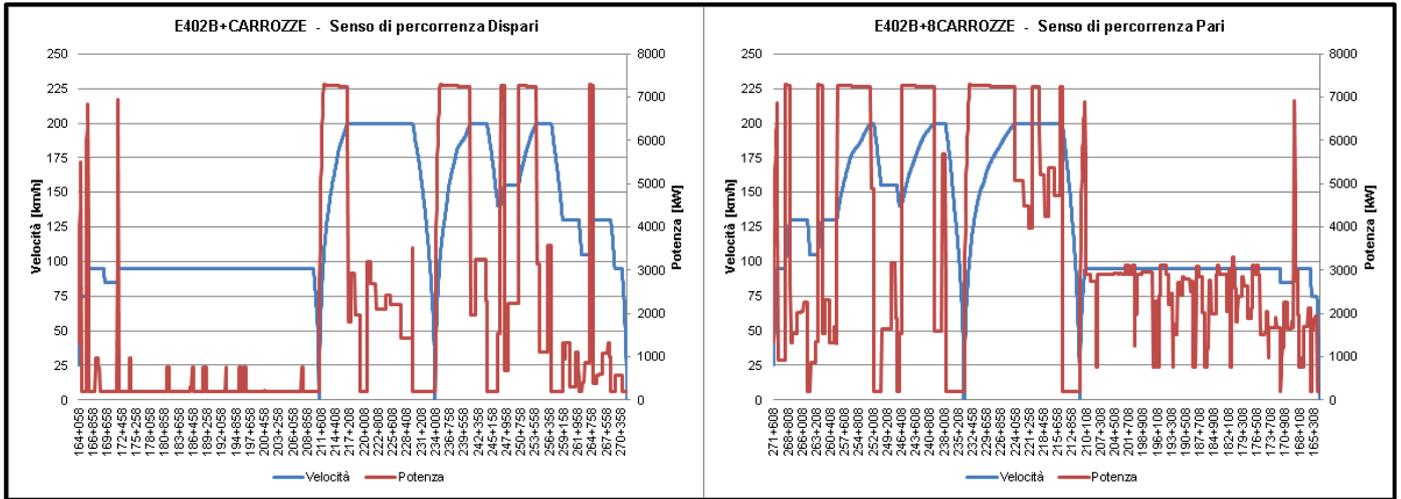


Figura 11 - Caratteristiche spazio/velocità e spazio/potenza – E402B + 8 carrozze

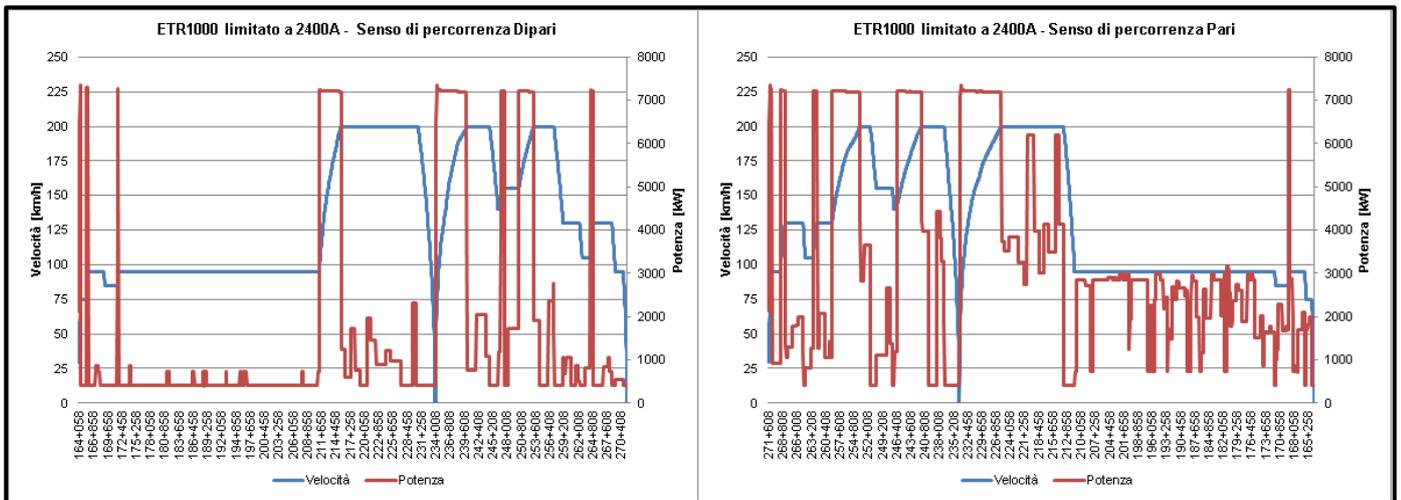


Figura 12 - Caratteristiche spazio/velocità e spazio/potenza – ETR1000 limitato a 2400A

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 in Figura 8.

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:

- Servizio Normale : Analisi con tutti gli impianti fissi di SSE funzionanti
- Servizio degradato : Analisi con gli impianti fissi di SSE ciclicamente in fuori servizio (n-1);

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 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**.

	Potenza - Metaponto
	Normale servizio
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	5390
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	15667
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	5161
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	14986
Rendimento medio della linea di contatto [%]	95.75

Tabella 4 – Condizione normale di servizio - Risultati generali

SSE	Correnti [A]		
	Media quadrica	Media aritmetica	Massima
Cabina TE eq. Potenza	86	21	648
SSE Vaglio	273	137	1378
SSE Trivigno	371	208	1567
SSE Campomaggiore	288	155	1353
SSE Grassano	402	225	1574
SSE Salandra	298	162	1354
SSE Ferrandina	411	227	1686
SSE Pisticci	273	144	1386
SSE Bernalda	397	205	1745
SSE Metaponto	212	55	1631

Tabella 5 - Carico SSE

		Valori di tensione [V]		Limiti Normativi
		Normale servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3541		
	Pari	3451		
Tensione media utile [V]	Dispari	3444		2700 V
	Pari	3339		
Tensione minima [V]	Dispari	3210		2000 V
	Pari	3020		

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

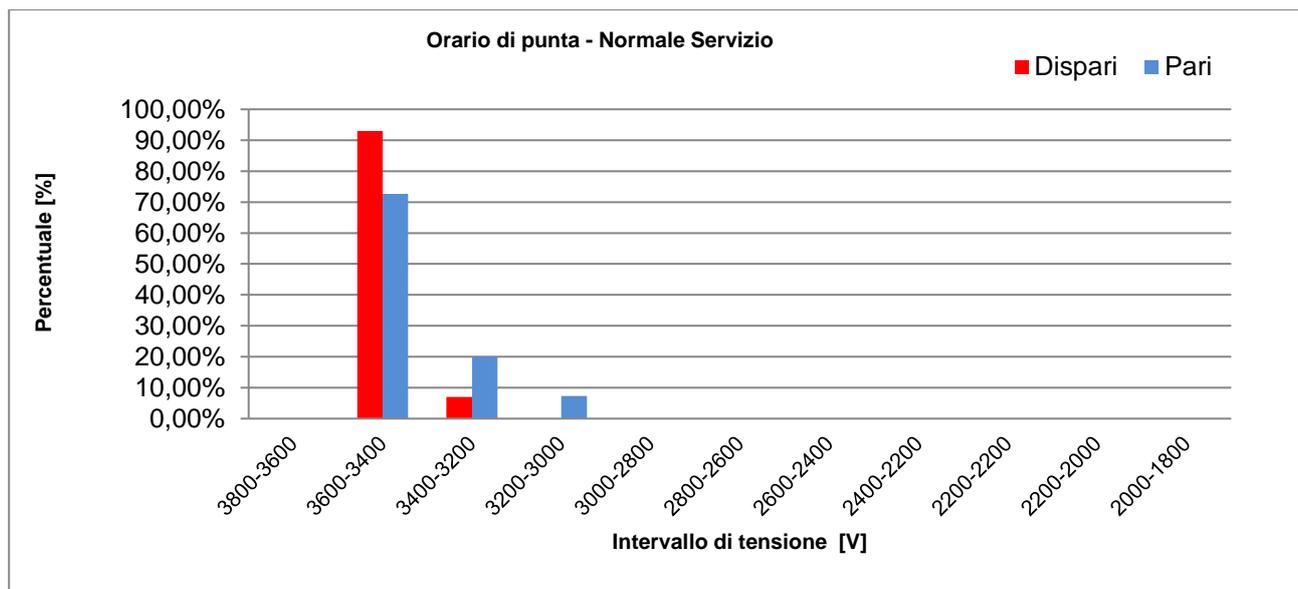


Figura 13 - Distribuzione globale delle tensioni all'archetto "Orario di punta" - Servizio Normale

Come risulta dalla Tabella 6, il valore di tensione minima per il verso dispari è di 3210 V mentre per il verso pari è di 3020 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 3444 V mentre per il verso pari è di 3339 V (entrambi al di sopra del limite di 2700 V prescritto dalla normativa). L'analisi della Figura 13, che riporta le distribuzioni percentuali

delle tensioni, evidenzia come la tensione all'archetto risulti essere maggiormente compresa nella fascia tra 3600 V e 3400 V.

Il valore di **corrente media quadratica** maggiore è registrato nella sezione elettrica che comprende la tratta tra la SSE di Ferrandina e la SSE di Grassano (binario dispari) ed è pari a 361 A. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (540 mm²) ne risulta un valore di densità di corrente pari a 0,67 A/mm². Tale valore risulta compatibile con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119.

6.2.2 SERVIZIO DEGRADATO

Al fine di realizzare una verifica di sistema, nel seguito si analizza la configurazione elettrica che prevede la condizione di degrado ciclico totale di tutte le SSE alimentanti la tratta in esame. Si fa presente che nel caso di fuori servizio della Cabina TE si può considerare il funzionamento in servizio normale in quanto il contributo energetico proviene dalle SSE adiacenti di SSE Romagnano (Battipaglia – Potenza) e SSE Pietragalla (Foggia – Potenza).

Nel caso invece di FS di Metaponto i contributi energetici vengono dati dalle SSE Chiatona (Metaponto – Taranto) e SSE Montegiordano (Metaponto – Sibari) e pertanto sarà calcolato in Metaponto un circuito equivalente che tenga conto di tali contributi.

	SSE Fuori Servizio totale				
	Cabina TE eq. Potenza	Vaglio	Trivigno	Campomaggiore	Grassano
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]		5429	5464	5456	5485
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]		15706	15671	16301	15666
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]		5159	5159	5161	5155
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]		14986	14986	14986	14986
Rendimento medio della linea di contatto [%]		95.03	94.42	94.59	93.98

Tabella 7 – Condizione di servizio con SSE in FS - Risultati generali

	SSE Fuori Servizio totale				
	Salandra	Ferrandina	Pisiticci	Bernalda	Metaponto
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	5459	5484	5445	5455	5407
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	16649	16641	17379	15652	16320
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	5160	5149	5159	5153	5159
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	14986	14986	14901	14986	14986
Rendimento medio della linea di contatto [%]	94.52	93.89	94.75	94.46	95.41

Tabella 8 – Condizione di servizio con SSE in FS - Risultati generali

Valore di corrente media quadratica / massima [A]					
SSE Fuori Servizio totale					
SSE	Cabina TE eq. Potenza	Vaglio	Trivigno	Campomaggiore	Grassano
Cabina TE eq. Potenza		214/1364	97/684	86/651	86/649
Vaglio			408/1523	279/1380	275/1378
Trivigno		488/1699		483/1681	391/1599
Campomaggiore		294/1358	423/1526		424/1787
Grassano		404/1578	420/1598	500/1834	
Salandra		298/1354	300/1356	303/1360	437/1567
Ferrandina		411/1686	411/1686	412/1686	428/1691
Pisticci		273/1386	273/1386	273/1386	274/1386
Bernalda		397/1745	397/1745	397/1745	397/1745
Metaponto		212/1631	212/1631	212/1631	212/1631

Tabella 9 – Condizione di servizio con SSE in FS - Carico SSE

Valore di corrente media quadratica / massima [A]					
SSE Fuori Servizio totale					
SSE	Salandra	Ferrandina	Pisticci	Bernalda	Metaponto
Cabina TE eq. Potenza	86/648	86/648	86/648	86/648	86/648
Vaglio	273/1378	273/1378	273/1378	273/1378	273/1378
Trivigno	373/1578	371/1568	371/1567	371/1567	371/1567
Campomaggiore	293/1379	289/1364	288/1353	288/1353	288/1353
Grassano	506/1651	420/1579	403/1575	402/1574	402/1574
Salandra		440/1499	303/1359	300/1364	298/1354
Ferrandina	512/1772		507/1943	431/195	412/1686
Pisticci	278/1387	417/1585		420/1791	277/1419
Bernalda	398/1745	417/1815	499/1877		451/1892
Metaponto	212/1631	213/1632	220/1635	388/2201	143/1150*

Tabella 10 – Condizione di servizio con SSE in FS - Carico SSE – (*) Equivalente

		SSE Fuori Servizio totale					
		Cabina TE eq. Potenza	Vaglio	Trivigno	Campomaggiore	Grassano	
Tensione media [V]	Dispari		3537	3529	3533	3505	Limiti Normativi
	Pari		3426	3417	3429	3413	
Tensione media utile [V]	Dispari		3444	3424	3444	3406	2700
	Pari		3293	3267	3290	3260	
Tensione minima [V]	Dispari		3111	2978	3138	2668	2000
	Pari		2460	2628	2672	2568	

Tabella 11 - Condizione di servizio con SSE in FS- Valori caratteristici di tensione

		SSE Fuori Servizio totale					
		Salandra	Ferrandina	Pisticci	Bernalda	Metaponto	
Tensione media [V]	Dispari	3525	3520	3527	3508	3540	Limiti Normativi
	Pari	3427	3411	3431	3414	3442	
Tensione media utile [V]	Dispari	3406	3387	3405	3365	3444	2700
	Pari	3294	3256	3302	3277	3315	
Tensione minima [V]	Dispari	2760	2669	2657	2458	3200	2000
	Pari	2641	2502	2596	2463	2554	

Tabella 12 - Condizione di servizio con SSE in FS- Valori caratteristici di tensione

Come risulta dai calcoli effettuati e i dati su esposti l'esercizio di progetto viene garantito in funzionamento normale e in servizio degradato. Unica eccezione nel caso di fuori servizio della SSE di Bernalda dove i valori di corrente massima prelevati dalla SSE di Metaponto superano i 2000A che per il solo gruppo installato da 3.6 MW è oltre il 200%. Pertanto sarebbe opportuno potenziare la SSE di Metaponto con un ulteriore gruppo anche perché tale impianto risulta essere di nodo per tre differenti linee.

In tale configurazione le tensioni minime al pantografo risultano essere maggiori di 2000V e la tensione media utile superiore ai 2700 V pertanto rispettano i limiti normativi.

7. Conclusioni

La configurazione elettrica proposta in figura 8, richiamata nel Capitolo 4, risulta essere idonea per l'esercizio di progetto proposto, sia in condizioni sia di normale che anormale funzionamento (servizio degradato con FS delle SSE ciclico). La simulazione ha evidenziato un leggero sovraccarico nel caso di fuori servizio della SSE di Bernalda dovuto a valori eccessivi di corrente massima sull'impianto adiacente di Metaponto (2201 A tabella 10). Facendo riferimento alla tabella 2 infatti si nota che il solo gruppo da 3.6 MW installato in tale impianto va in affanno negli istanti in cui abbiamo picchi di assorbimento che vanno oltre i 2000A (ammissibile per 2 ore).