

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

PROGETTAZIONE AREA SUD - U.O. TECNOLOGIE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO

Lotto 2: Taormina (e) - Giampilieri (e)

IMPIANTI DI SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE E CABINE TE

SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

Relazione di verifica prestazionale

SCALA :

-- : --

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

RS2S 02 D 67 SD SE0000 001 B

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
B	Emissione Esecutiva	S. Acunzo	Gennaio 2018	P. A. Di Franco	Gennaio 2018	P. Carlesimo	Gennaio 2018		
A	Emissione Esecutiva	S. Acunzo	Ottobre 2017	P.A. Di Franco	Ottobre 2017	P. Carlesimo	Ottobre 2017		

Sommario

1. Generalità.....	3
2. Norme e documenti di riferimento	4
2.1 Riferimenti normativi	4
2.2 Riferimenti progettuali	6
3. Dati di base	7
3.1 Caratteristiche del tracciato.....	7
3.2 Modello di esercizio e ipotesi di traffico.....	7
3.3 Caratteristiche del materiale rotabile.....	10
3.4 Caratteristiche della linea di contatto	10
3.5 Caratteristiche degli impianti fissi di alimentazione	11
4. Verifica del sistema elettrico di alimentazione	13
4.1 Fase funzionale n°2	14
4.1.1 Risultati delle simulazioni di marcia.....	14
4.1.2 Risultati delle simulazioni di sistema: Normale servizio.....	17
5. Conclusioni.....	21

1. Generalità

La presente relazione tecnica illustra i risultati della verifica di dimensionamento delle potenzialità del sistema elettrico di alimentazione della tratta Giampilieri – Fiumefreddo, in relazione agli interventi previsti nell'ambito del Contratto Istituzionale di Sviluppo CIS Sicilia siglato tra lo Stato, la Regione Sicilia e il Gruppo FS. La tratta Giampilieri – Fiumefreddo ricade all'interno del collegamento ferroviario tra Palermo – Catania – Messina che fa parte del corridoio n. 5 "Helsinki – La Valletta" della rete Trans – Europea di Trasporto.

L'intervento di raddoppio, che si sviluppa completamente in variante di tracciato rispetto alla linea storica esistente, si inquadra nel potenziamento dell'itinerario Messina-Catania e si propone di realizzare, su due distinte fasi funzionali, l'ammmodernamento dell'intera tratta che si estende, con un singolo binario (linea storica), per circa 42 km.

Oggetto del presente studio è la fase funzionale 2 che prevede l'attivazione del secondo lotto a doppio binario Taormina – Giampilieri con il mantenimento dell'interconnessione a semplice binario a Letojanni (circa 2 km), per l'attestamento dei treni regionali (lenti) provenienti da Catania.

Sulla base del carico elettrico, costituito dal modello di esercizio ipotizzato, è stata analizzata l'architettura del sistema di alimentazione della nuova linea ferroviaria.

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);

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 50317** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Sistemi di captazione della corrente
Requisiti e convalida delle misure dell'interazione dinamica tra pantografo e linea aerea di contatto;
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;

- CEI 11-4** Norme tecniche per la costruzione di linee elettriche aeree esterne;
Edizione 2011;
- EN 50125-2** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane
Impianti fissi
Condizioni ambientali per gli equipaggiamenti
Parte 2: Impianti elettrici fissi;
Edizione 2003;
- 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;
- 2014/1301/UE** Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea;

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

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

RS2S 02 D78 F6 IF0001 001÷018	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Profilo longitudinale binario pari;
RS2S 02 D78 F6 IF0001 019÷036	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Profilo longitudinale binario dispari;
RS2S 02 D78 LZ IF0001 001	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Planimetria e Profilo longitudinale stazione Letojanni;
RS2S 02 D67 DX LC0000 001	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Schema di alimentazione finale e zone TE + MATS finale
RS2S 02 D67 DX LC0000 002	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Schema di alimentazione TE e zone TE + MATS Lotto 2
RS2S 00 D05 RG MD0000 003	Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo Progetto Definitivo Raddoppio Giampilieri – Fiumefreddo Dossier Dati di Base;
Fascicolo Linea n°152	Linee: MESSINA C. LE – SIRACUSA Ed. Dicembre 2017

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 MODELLO DI ESERCIZIO E 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.

Il caso studio in oggetto prevede l'attivazione della seconda fase funzionale (lotto 02) e il modello di esercizio ferroviario relativo a questa fase funzionale è il seguente:

- Fase funzionale 2 :

Tratta Fiumefreddo – Giampilieri e interconnessione a Letojanni:

- Tratta Fiumefreddo – Taormina (doppio binario):
 - N. 21 Treni Merci al giorno;
 - N. 84 Treni Passeggeri Regionali al giorno;
 - N. 12 Treni Passeggeri Intercity al giorno.
- Tratta Taormina – Giampilieri (doppio binario):
 - N. 21 Treni Merci al giorno;
 - N. 66 Treni Passeggeri Regionali al giorno;
 - N. 12 Treni Passeggeri Intercity al giorno.
- Tratta Taormina – FV Letojanni (singolo binario):
 - N. 18 Treni Passeggeri Regionali al giorno.

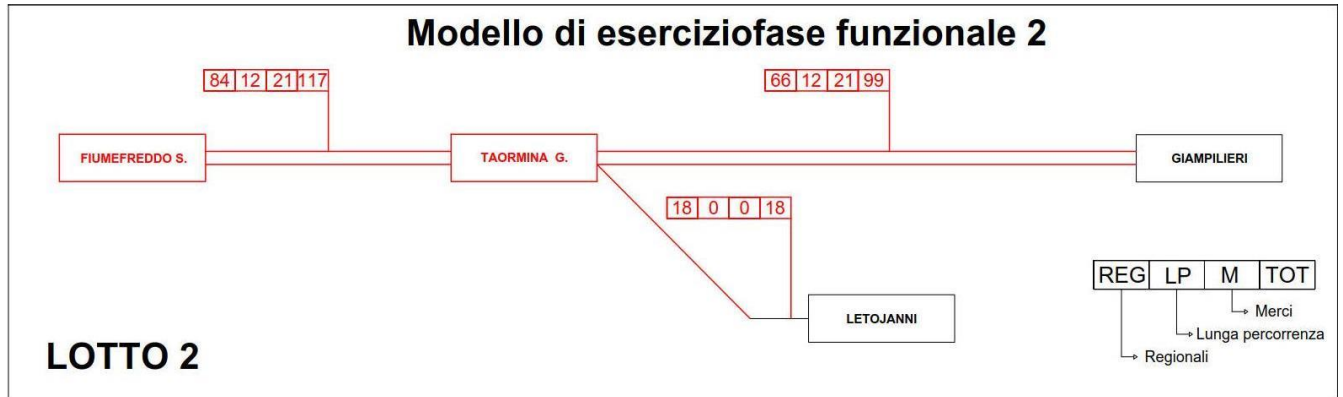


Figura 1 - Modello di esercizio relativo alla fase funzionale 2

Per la verifica della conformità dei parametri elettrici di maggiore interesse (tensione al pantografo, carico SSE, riscaldamento dei conduttori), si è implementato nel software, per i due scenari sopra riportati, l'ora di punta nel seguito rappresentata.

Di seguito è riportato l'orario grafico di riferimento utilizzato alla base della verifica:

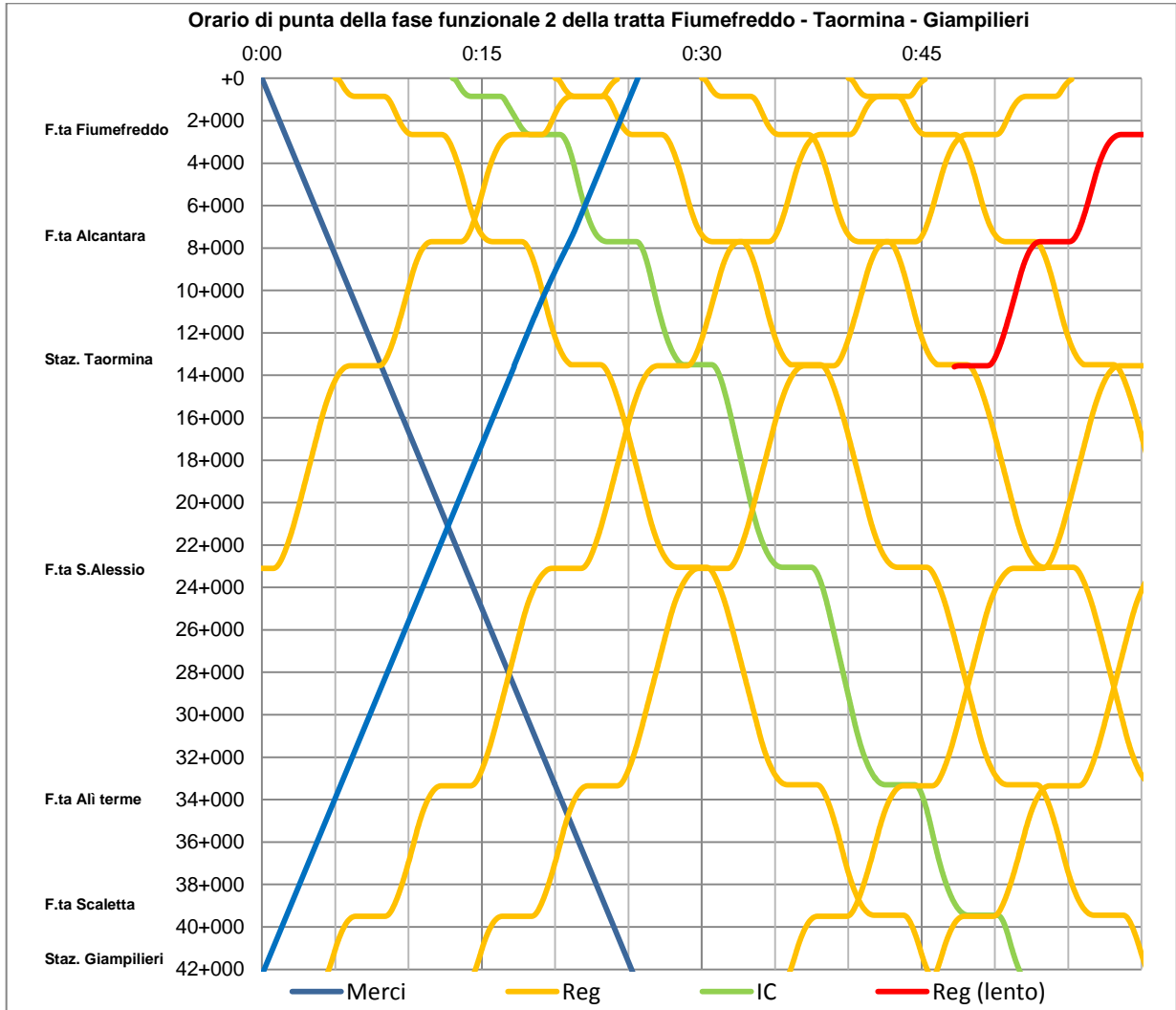


Figura 2 - Orario di punta "Scenario di traffico fase funzionale 2 – Fiumefreddo – Taormina – Giampileri"

La tabella seguente mostra, per la condizione di "servizio normale", una differente classificazione dei treni in base al senso di marcia:

Senso di percorrenza Dispari						Senso di percorrenza Pari					
E402B+1300	E464+150	E464+150	E464+150	E464+150	E464+150	E402B+1300	E464+150	E402B+150	E464+150	E464+150	E464+150
0.00	0.07	0.17	0.26	0.34	0.46	0.00	0.05	0.13	0.20	0.30	0.40
Merci	R	R	R	R	R	Merci	R	IC	R	R	R

Tabella 1 - Orario di servizio "Scenario di traffico fase funzionale 2 - Fiumefreddo – Taormina – Giampileri"

Si precisa che, nello scenario n°2, la tratta Taormina – Letojanni non è stata rappresentata in quanto si ritiene poco rilevante.

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 2 sono riportate le caratteristiche del materiale rotabile impiegato:

Caratteristiche del materiale rotabile impiegato			
Categoria treno	R	Merci	IC
Tipo di treno	E464+150t	E402B/E186 + 1300t	E402B+150t
Velocità massima treno nel tratto analizzato	160 km/h	100 km/h	180 km/h
Tensione nominale linea	3000 V	3000 V	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	100 kW	75 kW	200 kW
Massa Complessiva	222 t	1387 t	237 t
Rendimento Locomotiva	0,85	0,85	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05	1,05	1,05
Decelerazione costante in piano	0,4 m/s ²	0,3 m/s ²	0,4 m/s ²

Tabella 2 - Caratteristiche del materiale rotabile

3.4 CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO

La sezione delle condutture di contatto, della tratta analizzata, è pari a 440 mm² come rappresentato in Figura 3:

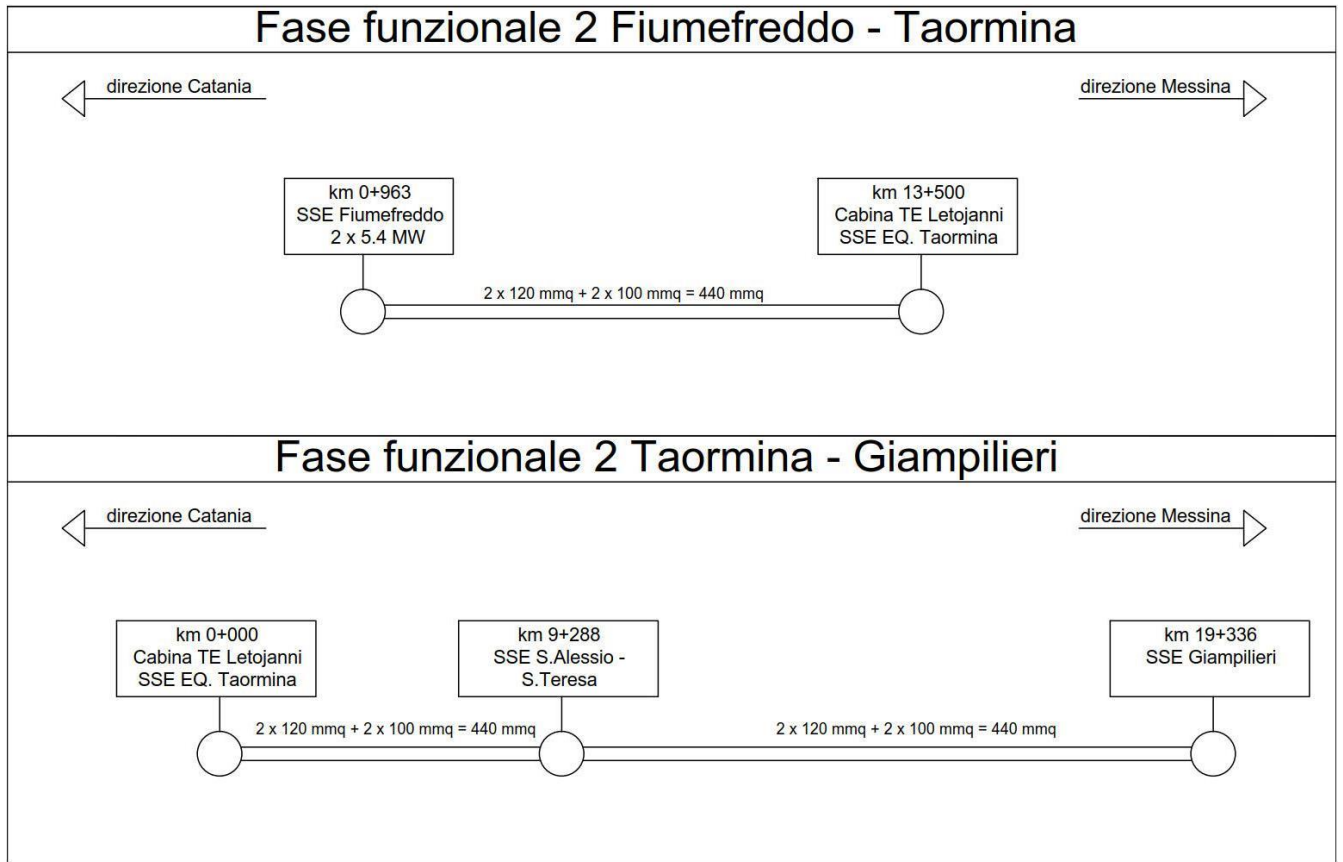


Figura 3 - Schema di alimentazione semplificato fase funzionale 2

3.5 CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI FISSI DI ALIMENTAZIONE

Le caratteristiche elettriche degli impianti di alimentazione, previsti per le due fasi funzionali e relativi alla tratta oggetto della simulazione, sono riportate in Tabella 3:

Nuovi impianti fissi di conversione e/o protezione		
Nome	Potenza installata	Lotto Funzionale
SSE di Fiumefreddo	2 x 5,4 MW	1
SSE di S.Alessio – S.Teresa	2 x 5,4 MW	2
SSE di Giampilieri	2 x 5,4 MW	2
Cabina TE di Letojanni		1

Tabella 3 - 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
Frequenza nominale [Hz]	50
Tensione nominale Primaria [V]	132±12x1,7%
Tensione nominale Secondaria [V]	2710
Caratteristiche di sovraccarico "Potenza"	200% P _n per 2h 233% P _n per 5'
Corrente nominale [A]	1500
Corrente Ammissibile per 2h [A]	3000
Corrente Ammissibile per 5 minuti [A]	3500
Resistenza int. Equivalente [Ω]	0,2

Tabella 4 - Caratteristiche elettriche apparecchiature di SSE

4. Verifica del sistema elettrico di alimentazione

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 in termini di qualità di tensione al pantografo e potenza installata degli impianti fissi di trazione, è realizzata analizzando la seguente condizione di funzionamento:

- | | |
|--|--|
| 1. Condizione di funzionamento in “servizio normale” | Si assume che tutte le Sottostazioni elettriche di conversione sono in servizio; |
|--|--|

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.

Nel seguito sono mostrati i risultati delle verifiche di potenzialità effettuate sul sistema in progetto.

4.1 FASE FUNZIONALE 2

4.1.1 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:

	E402B/E186+1300t		E464+150t		E402B+150t	
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari
	Taormina - Fiumefreddo	Fiumefreddo - Taormina	Taormina - Fiumefreddo	Fiumefreddo - Taormina	Taormina - Fiumefreddo	Taormina - Fiumefreddo
Energia totale assorbita [kWh]	612.36	380.14	268.16	232.28	342.2	327.31
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	45.19	28.05	19.79	17.14	25.25	24.15
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	32.58	20.22	89.14	77.21	106.55	101.92
Potenza media per treno [kW]	4353.44	2805.51	973.39	853.29	1278.5	1446.92
Velocità media [km/h]	96.33	100.00	49.18	49.78	50.62	59.9

Tabella 5 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia. Tratta: Fiumefreddo – Taormina

	E402B/E186+1300t		E464+150t		E402B+150t	
	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza	Senso di percorrenza
	Dispari	Pari	Dispari	Pari	Dispari	Pari
	Giampilieri - Taormina	Taormina - Giampilieri	Giampilieri - Taormina	Taormina - Giampilieri	Giampilieri - Taormina	Taormina - Giampilieri
Energia totale assorbita [kWh]	1086.24	1043.63	478.96	480.55	638.69	638.77
Energia specifica media assorbita per treno [kWh/tr.km]	36.75	35.31	16.2	16.24	21.61	21.61
Energia specifica media assorbita per kt [kWh/1000t.km]	26.5	25.46	73.01	73.17	91.19	91.2
Potenza media per treno [kW]	3675.9	3529.91	1229.89	1225.59	1742.93	1728.68
Velocità media [km/h]	100.00	99.95	75.88	75.44	80.64	79.97

Tabella 6 - Grandezze caratteristiche per senso di marcia. Tratta: Taormina – Giampilieri

Tratta Fiumefreddo – Taormina:

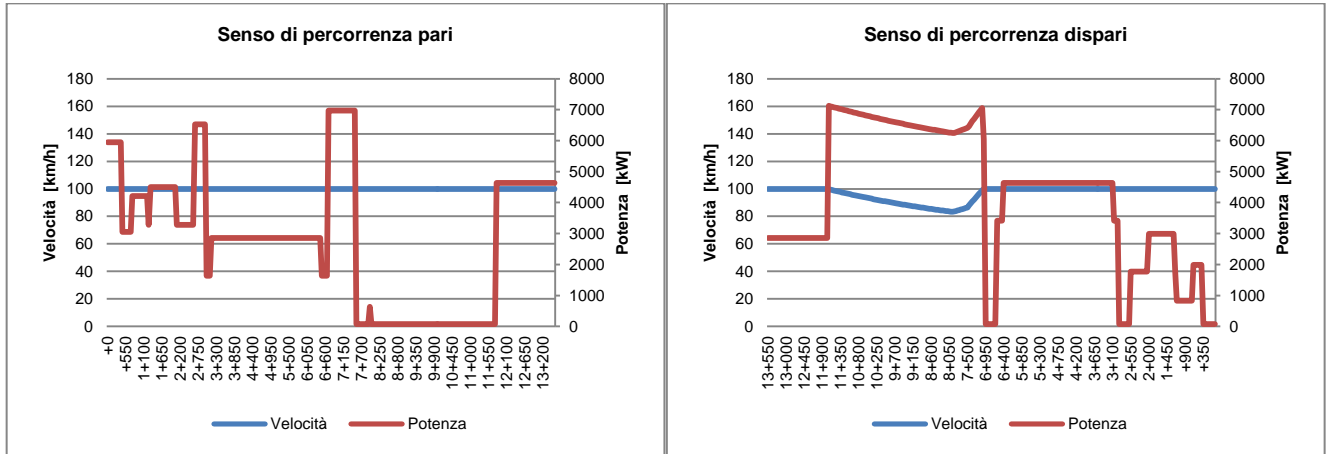


Figura 4 – Mercis – E402B/E186+1300t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

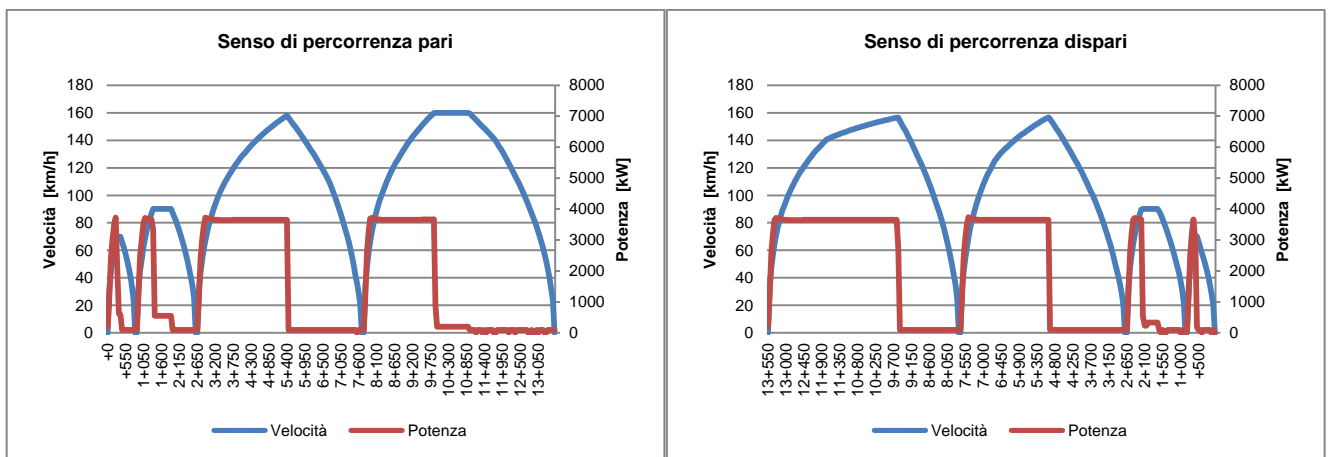


Figura 5 – Regionale – E464+150t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

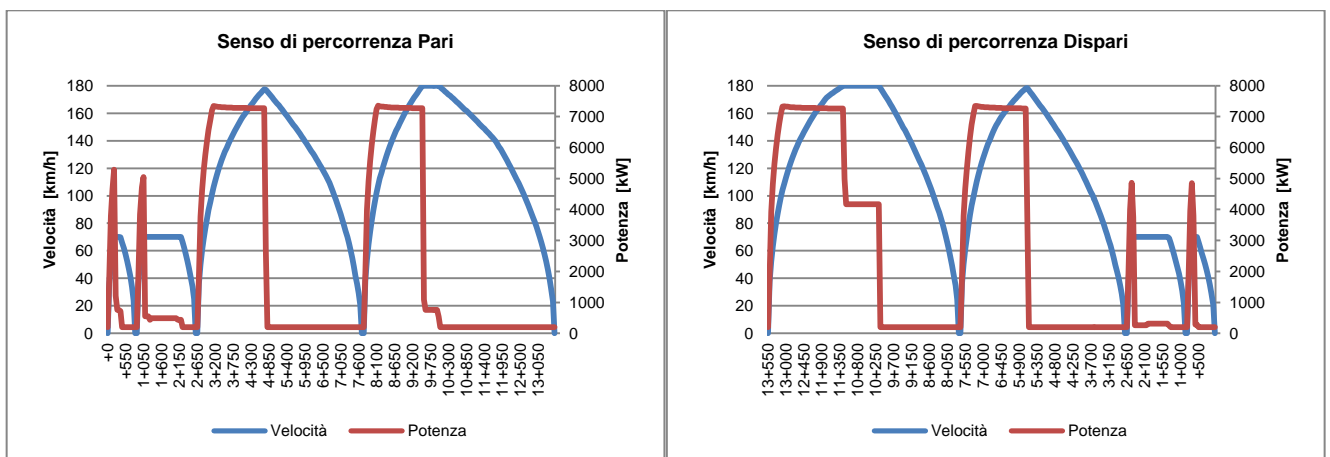


Figura 6 – Intercity – E402B+150t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

Tratta Taormina – Giampilieri:

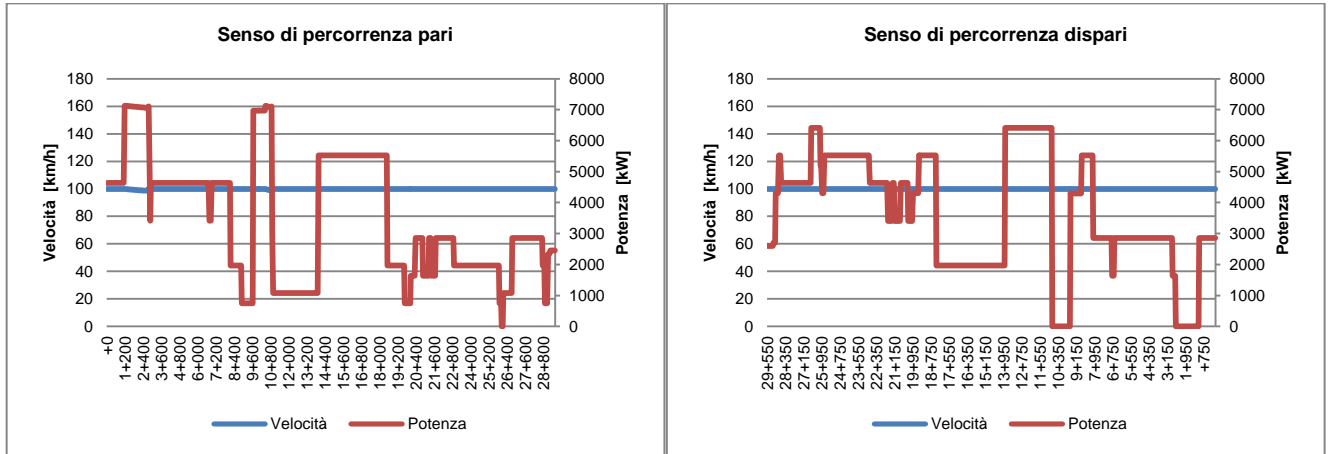


Figura 7 – Mercis – E402B/E186+1300t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

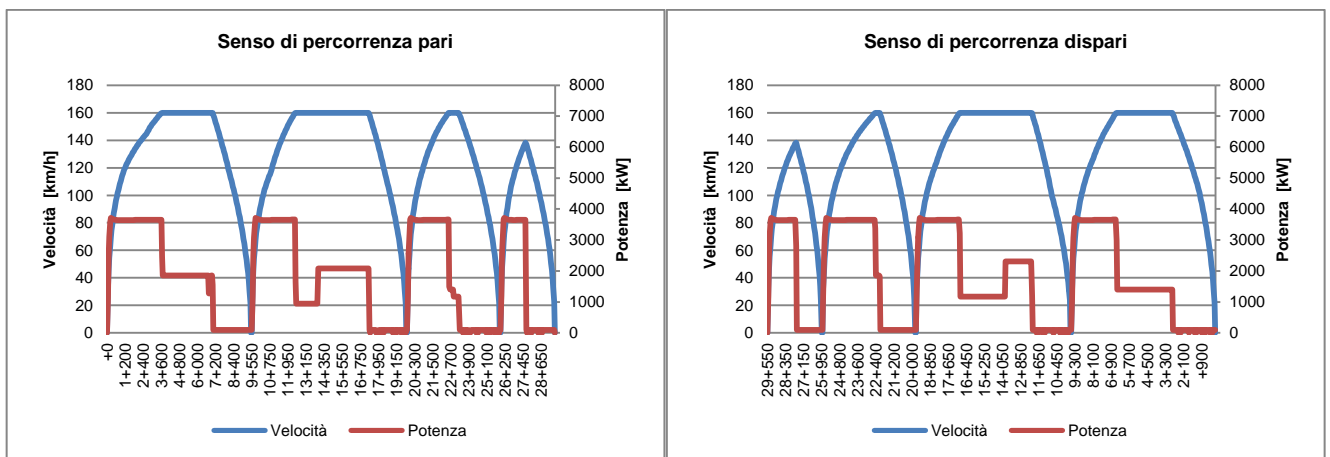


Figura 8 – Regionale – E464+150t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

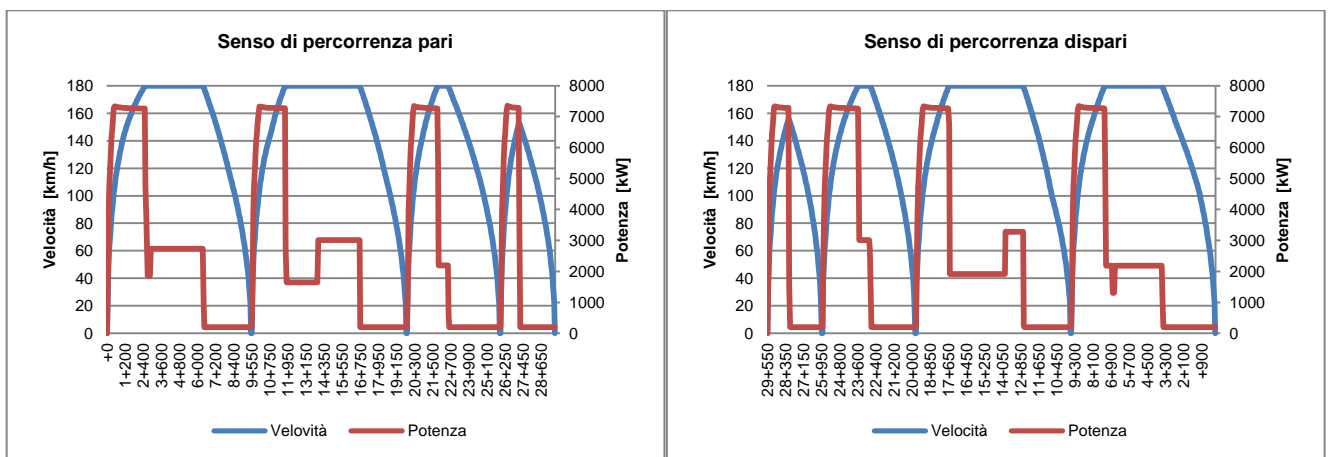


Figura 9 – Intercity – E402B+150t – Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza

4.1.2 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.

Inoltre, al fine di tener conto che le SSE previste nella tratta, potessero erogare corrente ad altre linee, è stato assunto, come valore delle tensioni a vuoto da impostare nei generatori, 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, del modello di esercizio.

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**.

	Tratta Fiumefreddo – Taormina
	Servizio normale Ora di punta
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	3799
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	14648
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	3540
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	12966
Rendimento medio della linea di contatto [%]	93.18
	Tratta Taormina – Giampilieri
	Servizio normale Ora di punta
Potenza media assorbita da tutte le SSE [kW]	7055
Potenza massima assorbita da tutte le SSE [kW]	23723
Potenza media fornita dalla linea di contatto [kW]	6586
Potenza massima fornita dalla linea di contatto [kW]	22053
Rendimento medio della linea di contatto [%]	93.35

Tabella 7 – Fase funzionale 2 - Condizione di normale esercizio - Risultati generali

SSE	Correnti [A]		
	Media quadrica	Media aritmetica	Massima
SSE Fiumefreddo	1129	839	3241
SSE S.Alessio - S.Teresa	1432	808	4371
SSE Giampilieri	1035	1138	3393

Tabella 8 – Tratta Fiumefreddo – Taormina – Giampilieri - Carico delle SSE

		Fiumefreddo – Taormina		Limiti Normativi
		Normale servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3283		-
	Pari	3295		
Tensione media utile [V]	Dispari	3021		2700
	Pari	3057		
Tensione minima [V]	Dispari	2471		2000
	Pari	2470		

Tabella 9 – Tratta Fiumefreddo – Taormina - Condizione normale di servizio - Valori caratteristici di tensione

		Taormina – Giampilieri		Limiti Normativi
		Normale servizio		
Tensione media [V]	Dispari	3266		-
	Pari	3273		
Tensione media utile [V]	Dispari	3105		2700
	Pari	3095		
Tensione minima [V]	Dispari	2664		2000
	Pari	2642		

Tabella 10 – Tratta Taormina – Giampilieri - Condizione normale di servizio - Valori caratteristici di tensione

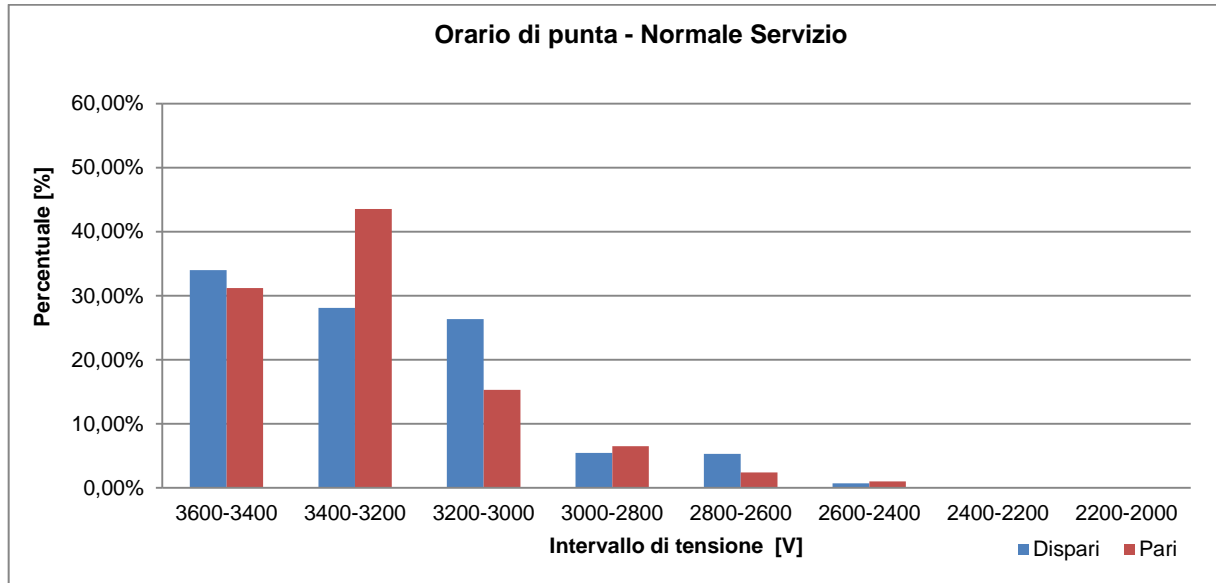


Figura 10 – Tratta Fiumefreddo - Taormina - Distribuzione globale tensioni all’archetto “Orario di punta”

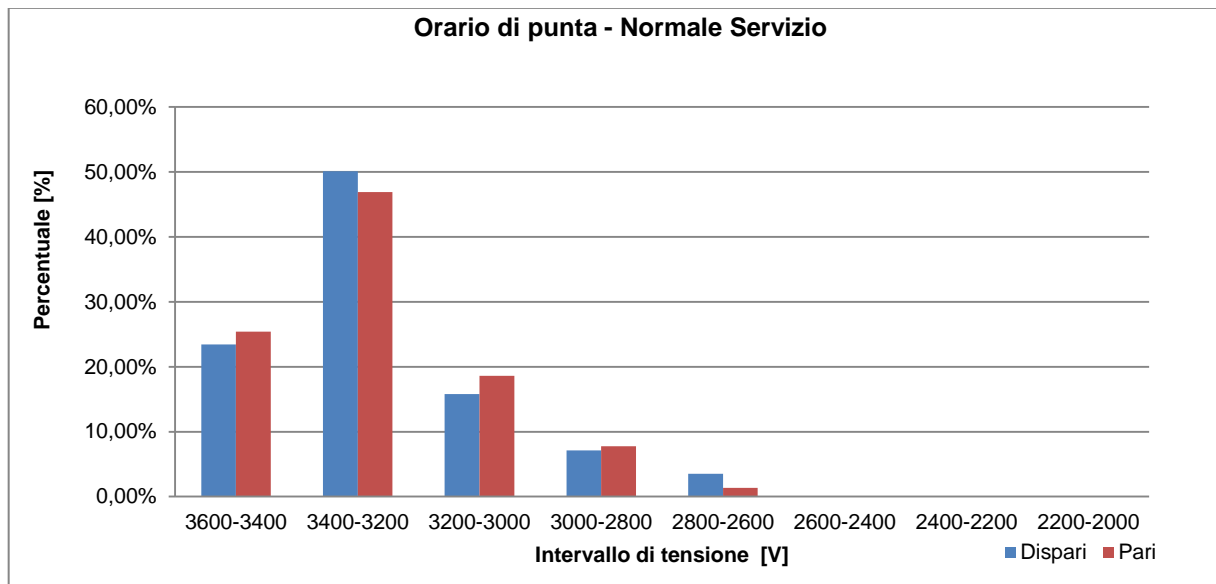


Figura 11 – Tratta Taormina – Giampilieri - Distribuzione globale tensioni all’archetto “Orario di punta”

Come risulta dalla Tabella 9, per la tratta Giampilieri – Taormina, , per la tratta Taormina – Fiumefreddo, il valore di tensione minima per il verso dispari è di 2471 V mentre per il verso pari è di 2470 V. Analogamente per la tratta Taormina – Giampilieri dalla Tabella 10 risulta che il valore di tensione minima per il verso dispari è 2664 V mentre per il verso pari è 2642 V.

Tali valori risultano compatibili con i valori minimi prescritti dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda il valore di tensione media utile, indice di qualità di tensione al pantografo, per la tratta Giampilieri – Taormina risulta pari a 3021 V per il verso dispari e 3057 V per il verso pari. Analogamente per la tratta Taormina – Fiumefreddo i valori di tensione media utile risultano pari a 3105 V per il verso dispari e 3095 V per il verso pari. Tali valori risultano al disopra del limite minimo pari a 2700 V prescritto dalla normativa vigente.

L'analisi della Figura 10 e della Figura 11, che riporta le distribuzioni percentuali delle tensioni, evidenzia come la tensione all'archetto risulti essere maggiormente compresa nella fascia compresa tra 3200 V e 3400 V sia per la tratta Fiumefreddo – Taormina che per la tratta Taormina – Giampilieri.

Il valore di **corrente media quadratica** registrato nelle sottostazioni elettriche ricadenti nella tratta oggetto della simulazione è pari a 1129 A per la SSE di Fiumefreddo, 1432 A per la SSE di S. Alessio e 1035 A per la SSE di Giampilieri. Considerando la sezione equivalente di linea di contatto in tale tratta (440 mm^2) ne risultano rispettivamente i seguenti valori di densità di corrente:

- SSE di Fiumefreddo $2,56 \text{ A/mm}^2$;
- SSE di S. Alessio $3,25 \text{ A/mm}^2$;
- SSE di Giampilieri $2,35 \text{ A/mm}^2$;

Tali valori risultano compatibili con le sovratemperature massime previste dalla norma CEI EN 50119. Il valore di **corrente di picco**, registrato nelle sottostazioni elettriche ricadenti nella tratta oggetto della simulazione, risulta pari a 3241 A per la SSE di Fiumefreddo, 4371 A per la SSE di S. Alessio e 3393 A per la SSE di Giampilieri. Tali valori risultano compatibili con la corrente massima erogabile dai due gruppi di conversione previsti nelle nuove SSE.

5. Conclusioni

Lo studio effettuato mette in evidenza che in condizioni di normale servizio e nelle ipotesi di traffico assegnate, la configurazione del sistema di alimentazione analizzata, non presenta particolari criticità.

I risultati generali delle simulazioni di sistema e i valori caratteristici della tensione al pantografo e i valori di corrente che si hanno sulla linea di contatto sono idonei allo svolgimento del normale esercizio. Questi ultimi sono inoltre confrontati con i valori limite prescritti dalle normative di riferimento **CEI EN 50163** e **CEI EN 50388**.

La scelta delle condutture da 440 mm² assicura, il normale esercizio del traffico passeggeri e merci.