

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

U.O. TECNOLOGIE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

TRAZIONE ELETTRICA

Studio degli impianti TE con tratta Bozzolo-Mantova in interruzione prolungata di esercizio ferroviario

SCALA:

-

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

N M 2 5 0 3 D 5 8 S D T E 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	B. Tutino 	Maggio 2020	M. Reggiani 	Maggio 2020	M. Berlingieri 	Maggio 2020	M. Gambaro Maggio 2020

File: NM2503D58SDTE0000001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1. ABBREVIAZIONI	3
2. SCOPO	4
3. NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.1. RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3.2. RIFERIMENTI TECNICI	5
4. DATI DI BASE	6
4.1. INTERVENTI A PROGETTO NEL LOTTO 3	6
4.2. ATTUALE ARCHITETTURA DI SISTEMA TRA CODOGNO E MANTOVA	7
4.3. ARCHITETTURA DI SISTEMA PROVVISORIA DURANTE LE LAVORAZIONI DI LOTTO 3	8
4.4. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO	9
4.5. CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO	10
4.6. CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI FISSI DI ALIMENTAZIONE	10
4.7. MODELLO DI ESERCIZIO NELL'ORA DI PUNTA	11
4.7.1 <i>Traffico nell'ora di punta e caratteristiche del materiale rotabile</i>	12
5. VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE	14
5.1. RISULTATI	15
5.1.1 <i>Tensioni</i>	15
5.1.2 <i>Correnti, potenze e sovratemperature</i>	16
5.2. CONCLUSIONI	18
ALLEGATO A. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO	19
ALLEGATO B. SIMULAZIONI DI MARCIA	24

1. ABBREVIAZIONI

Ai fini del presente studio valgono gli acronimi di Tab.1:

ACRONIMO	Esplicitazione
TE	Trazione Elettrica
LdC	Linea di Contatto
FC	Filo di Contatto
CP	Corda Portante
CPR	Corda Portante Regolata
CPF	Corda Portante Fissa
Pf	Piano Ferro
Pk	Progressiva chilometrica
CdT	Circuito di Terra di protezione
FV	Fabbricato Viaggiatori
SF	Stazione Ferroviaria
SSE	Sottostazione Elettrica
TS	Tronco di Sezionamento
RA	Regolazione Automatica
P/D	Pari Dispari
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
DTP	Direzione Territoriale Produzione

Tab.1. Acronimi.

2. SCOPO

La presente nota tecnica costituisce la sintesi di uno studio sulla potenzialità degli impianti di alimentazione della trazione elettrica esistenti sulla linea Codogno-Cremona-Mantova durante lo sviluppo del progetto della cosiddetta tratta prioritaria, la Piadena-Mantova, costituente il lotto 3 dell'opera completa del raddoppio a partire da Codogno. Poiché le fasi di sviluppo del lotto 3 prevedono il raddoppio in stretto affiancamento tra Bozzolo e Mantova e la realizzazione del raddoppio in variante di tracciato tra Piadena e Bozzolo, nella prima tratta ci sarà interruzione prolungata di esercizio ferroviario, mentre nella seconda è prevista la permanenza dell'esercizio su singolo binario. Tale condizione di esercizio farà sì che la tratta Piadena-Bozzolo dovrà essere alimentata "a sbalzo" dalla SSE di Piadena, configurandosi, quindi, come una situazione diversa dal "naturale" assetto impiantistico di esercizio di una linea ferroviaria che "vede" due impianti fissi di alimentazione e protezione (SSE o Cabine TE) ai suoi estremi.

Quindi, per quanto detto, l'analisi presentata contemplerà l'attuale architettura elettrica di sistema da Codogno a Bozzolo e un modello di esercizio ipotizzato sulla base dell'orario vigente al momento dello studio e sul potenziale asservimento della linea ai raccordi industriali presenti.

L'idoneità del sistema elettrico è stata analizzata con particolare riferimento ai valori di tensione (media, media utile e minima) e alla compatibilità del carico elettrico con le apparecchiature degli impianti fissi di trazione.

Le verifiche sono state realizzate 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.

3. NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'analisi è stata eseguita facendo riferimento alla versione più aggiornata della seguente normativa:

Regolamento (UE) n.1301/2014 della Commissione del 18.11.2014 inerente Specifiche Tecniche di Interoperabilità per il sottosistema "Energia" del sistema ferroviario dell'Unione Europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo 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;

EN 50163 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione;

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.

3.2. RIFERIMENTI TECNICI

L'analisi è stata svolta avvalendosi della seguente documentazione tecnica:

RFIDTSTMAIS00002A Piano tecnologico di rete RFI;

RFIDTCSTSENEPIFSTE210A Capitolato tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kVcc;

RFIDTCSTESPIFSSS193A Trasformatore trifase in AT per l'alimentazione di raddrizzatori da 3,6/5,4 MW a 3 kVcc con telai in parallelo;

IE.TE.194 Ed. 1980 Raddrizzatori al silicio (a giorno);

Disegno RFI 6229-SH Rev.17 Schema dei circuiti secondari TE tratta Codogno-Cremona;

Disegno RFI 6732-SH Rev.11 Schema dei circuiti secondari TE tratta Cremona-Mantova;

Disegno RFI 6025-SH-S-Rev.1	Schema unifilare SSE Casalpusterlengo;
Disegno RFI 6241-SH-S	Schema elettrico SSE Cremona;
Disegno RFI 6640-SH-S	Schema elettrico SSE Piadena;
Disegno RFI 6641-SH-S	Schema elettrico SSE Curtatone;
Disegno RFI 7626-SH-S-Rev.1	Schema unifilare SSE Cavatigozzi;
Disegno RFI 509/1	Planimetria e profilo Codogno – Cremona;
142711000PETBBN00000003	Raddoppio della tratta ferroviaria Cremona - Cavatigozzi, profilo longitudinale per attivazione binario pari;
Disegno RFI 509/2a	Planimetria e profilo Cremona - Mantova;
Disegno RFI 509/2b	Planimetria e profilo Cremona - Mantova;
Documento RFI	Studio preliminare: “Raddoppio Codogno-Cremona-Mantova”;
RFI-DCE-DAOPFSIA0011P	Specifiche integrative del progetto “Raddoppio Codogno-Cremona-Mantova”;
NM2503D16RGES0001001A	Progetto definitivo “Raddoppio Codogno-Cremona-Mantova, tratta Piadena-Mantova” – Relazione tecnica di esercizio del 30/04/2020;
RFI-DTC-D\A0011\P2019\0002523	Disposizione di esercizio n.21 del 15/11/2019 inerente “modifiche alla PGOS-RFI e alla PGOS-IF concernenti le norme di composizione e frenatura dei treni merci con massa rimorchiata superiore a 1600t e fino a 2500t”.
Fascicolo di linea 34	Fascicolo linee Pavia-Mantova e Brescia Est-Parma, Ed. dicembre 2003, aggiornato al maggio 2020.

4. DATI DI BASE

4.1. INTERVENTI A PROGETTO NEL LOTTO 3

L'intervento sulla linea Piadena-Mantova prevede:

- Il raddoppio della linea tra Piadena e Mantova;

- la trasformazione della stazione di Castellucchio in fermata;
- l'adeguamento a STI di stazioni e fermate;
- l'abolizione di PL;
- il rifacimento della LdC e interventi su Cabine TE e SSE.

Tutte le suddette lavorazioni prevedono la chiusura della tratta Bozzolo-Mantova e il mantenimento dell'esercizio sul singolo binario esistente tra le stazioni di Piadena e di Bozzolo.

4.2. ATTUALE ARCHITETTURA DI SISTEMA TRA CODOGNO E MANTOVA

Di seguito una breve descrizione degli impianti che costituiscono attualmente l'intera linea oggetto di raddoppio nei vari lotti progettuali (Fig.1):

- a) linea a singolo binario diramata dalla stazione di Codogno posta sulla linea Milano-Piacenza. In corrispondenza del bivio da cui si dirama la linea a semplice binario è presente un TS con la "calata" dell'alimentatore proveniente dalla SSE di Casalpusterlengo posta alla pk 5+681 rispetto al FV della stazione di Codogno;
- b) linea a semplice binario con LdC 320 mm² CPR tra Codogno e Cavatigozzi;
- c) SSE di Cavatigozzi dotata di un gruppo da 3,6 MW e due alimentatori insistenti sulla linea oggetto di analisi;
- d) linea a doppio binario con LdC 440 mm² CPR oggetto di attivazione nel 2015 tra il raccordo industriale di Cavatigozzi e la stazione di Cremona;
- e) quadrivio, in corrispondenza della stazione di Cremona, tra la linea oggetto della presente analisi e le linee Treviglio-Cremona e Cremona-Fidenza;
- f) SSE di Cremona dotata di due gruppi da 3,6 MW e un alimentatore di 1,5 Km insistente sulla linea oggetto di analisi;
- g) linea a semplice binario con LdC 320 mm² CPR tra Cremona e Mantova fino alla Cabina TE di Mantova posta alla pk 88+800 da Codogno. Tale Cabina TE è ubicata in corrispondenza della confluenza della linea oggetto di studio con le linee Verona-Mantova, Mantova-Nogara e Mantova-Modena;
- h) SSE di Piadena e SSE di Curtatone, entrambe dotate di 2 gruppi da 3,6 MW e due alimentatori insistenti sulla linea oggetto di analisi.

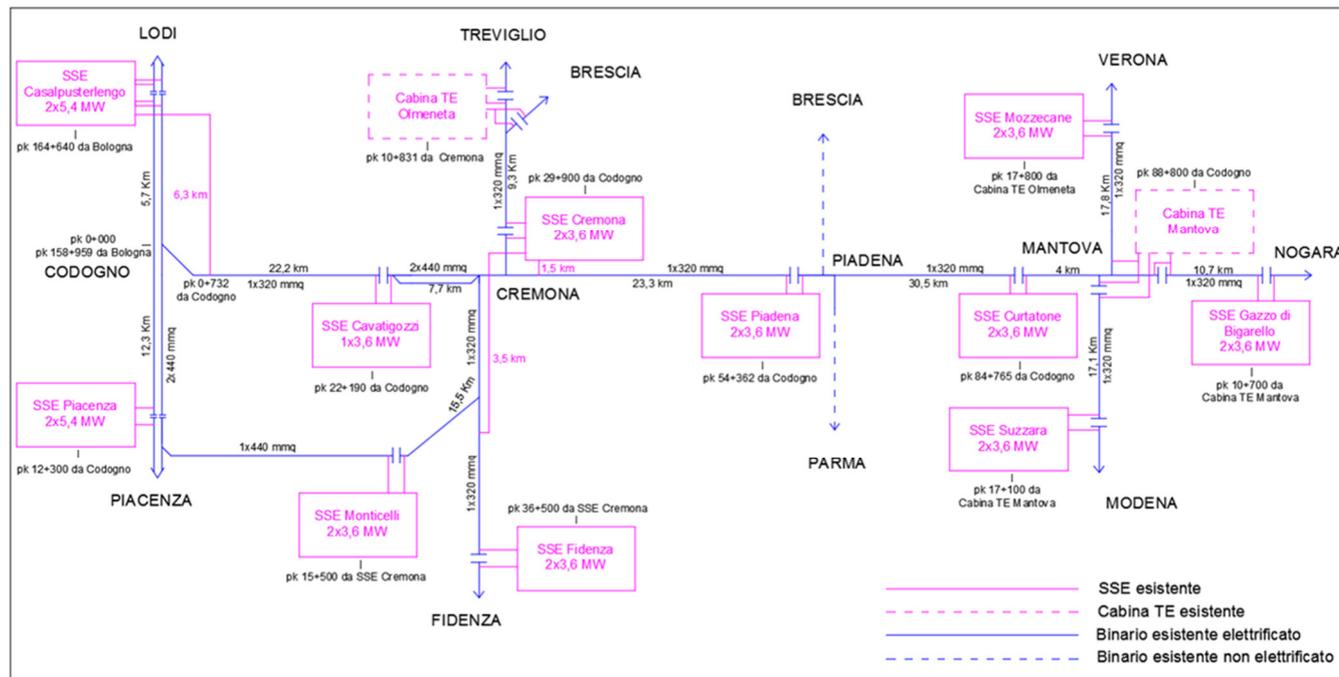


Fig.1. Attuale architettura di sistema.

4.3. ARCHITETTURA DI SISTEMA PROVVISORIA DURANTE LE LAVORAZIONI DI LOTTO 3

Durante le fasi delle lavorazioni per il raddoppio della linea tra Piadena e Mantova previste in progetto nel lotto 3, è prevista l'interruzione prolungata di esercizio della tratta Bozzolo-Mantova e pertanto l'architettura di sistema si configurerà così come schematizzato in Fig.2. Da quest'ultima si può notare che l'assetto impiantistico tra il "bivio Codogno" e la stazione di Bozzolo rimarrà assolutamente invariato, ovvero tutto a singolo binario con l'eccezione del tratto tra Cavatigozzi e Cremona raddoppiato con l'attivazione del 2015. La chiusura della tratta Bozzolo-Mantova richiederà invece la costruzione dell'opera provvisoria di supporto all'alimentazione della Cabina TE di Mantova dalla SSE di Curtatone che sarà rinnovata per fasi mantenendo un gruppo in esercizio. Il mantenimento dell'esercizio sul singolo binario esistente tra Piadena e Bozzolo richiederà l'alimentazione a sbalzo, dalla SSE di Piadena, di circa 9,5 km di tracciato; questa è la condizione di alimentazione "anomala" che ha richiesto un approfondimento circa la possibilità di esercire la stessa nel rispetto dei parametri "STI energia" e dei limiti tecnici dell'impianto fisso di alimentazione in termini di capacità, sicurezza e qualità del servizio fornito.

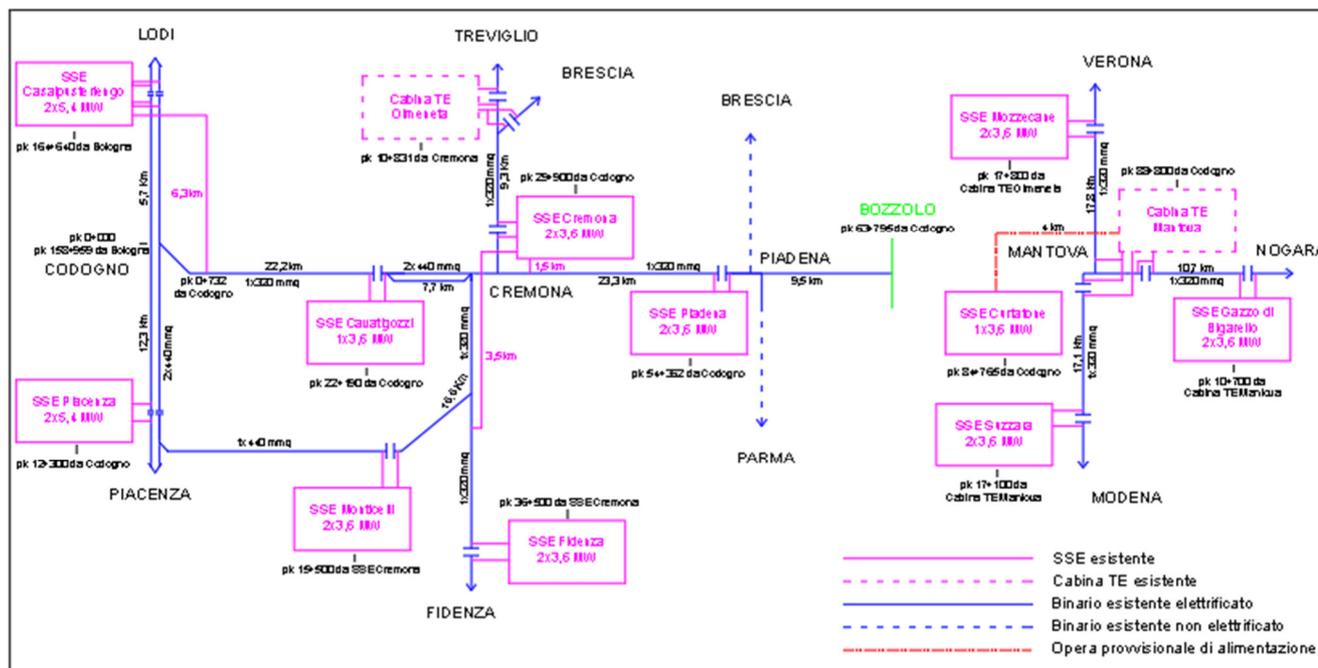


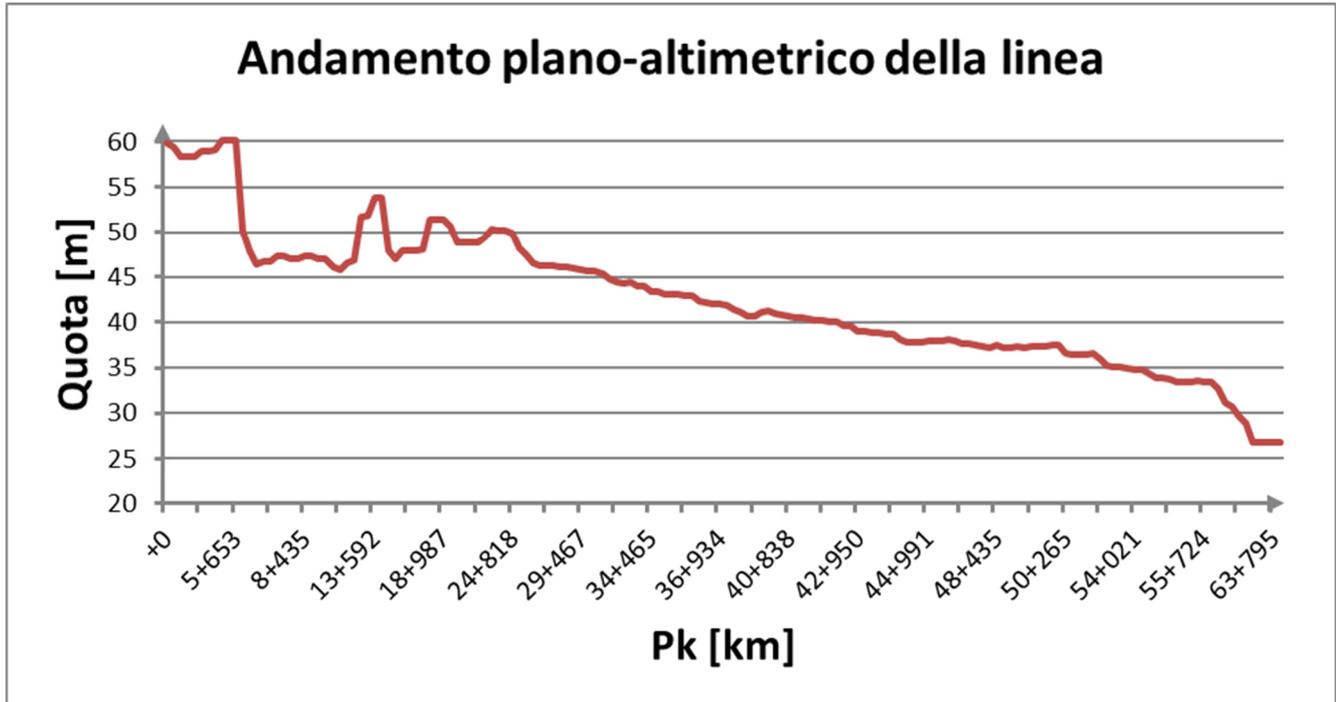
Fig.2. Architettura di sistema “transitoria” durante le fasi di sviluppo delle lavorazioni di lotto 3.

4.4. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO

Alla base del seguente studio vi è l’implementazione del profilo plano-altimetrico della linea esistente, completo delle informazioni relative alla velocità massima di tracciato.

Il tracciato simulato si sviluppa interamente all’aperto, tra il bivio da cui si dirama la linea per Cremona (a partire dalla linea storica Milano-Piacenza) e la stazione di Bozzolo, ed è caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 63,8 km in singolo binario (ad eccezione della tratta tra Cavatigozzi e Cremona considerata a doppio binario¹) con andamento planimetrico ed altimetrico coincidente con quello del binario esistente. In Fig. 3 è riportato l’andamento schematizzato del piano del ferro per i cui dati dettagliati di pk, livellette e raggi di curvatura inseriti nel software di simulazione si rimanda all’Allegato A.

¹ Andamento plano-altimetrico del binario pari ipotizzato identico a quello del binario dispari.


Fig.3. Andamento altimetrico del piano del ferro.

4.5. CARATTERISTICHE DELLA LINEA DI CONTATTO

La sezione della LdC della linea simulata è di 320 mm² ad eccezione del tratto tra Cavatigozzi e Cremona che ha una sezione equivalente di 440 mm².

4.6. CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI FISSI DI ALIMENTAZIONE

La linea oggetto della simulazione è attualmente energizzata dagli impianti fissi elencati in Tab.2 e caratterizzati dai dati riportati in Tab.3.

N.	SSE	pk SIMULAZIONE	N. GRUPPI IN SERVIZIO
1	SSE Casalpusterlengo	0+000	2x5,4 MW
2	SSE Cavatigozzi	22+200	1x3,6 MW
3	SSE Cremona	30+100	2x3,6 MW
4	SSE Piadena	54+700	2x3,6 MW

Tab.2. Impianti fissi di alimentazione elettrica.

DATI SINGOLO GRUPPO	DA 5,4 kW	DA 3,6 kW
Potenza nominale trasformatore [kVA]	5750/2x2875	3880/2x1940
Potenza nominale raddrizzatore [kW]	5400	3600
Caratteristiche di sovraccarico in "Potenza"	200% P _n per 2h 233% P _n per 5'	200% P _n per 2h 300% P _n per 5'
Tensione nominale [V]	3600	3600
Corrente nominale [A]	1500	1000
Corrente Ammissibile per 2h [A]	3000	2000
Corrente Ammissibile per 5min [A]	3500	3000
Resistenza interna equivalente [Ω]	0,2	0,2

Tab.3. Principali dati di targa del singolo gruppo.

4.7. MODELLO DI ESERCIZIO NELL'ORA DI PUNTA

Il modello di esercizio ipotizzato è stato ricavato in assoluta autonomia sulla base del documento NM2503D16RGES0001001A – “Relazione tecnica di esercizio” del 30/04/2020, costituente documentazione progettuale del PD “Raddoppio Codogno-Cremona-Mantova, tratta Piadena-Mantova”; quest’ultimo riporta modelli di esercizio basati sostanzialmente sullo storico dei traffici rilevati fino a poco tempo prima dell’esecuzione del presente studio e sul potenziale asservimento della linea ai raccordi industriali presenti.

A partire dal “modello di esercizio durante le lavorazioni” del lotto 3 di cui alla succitata “Relazione tecnica di esercizio”, è stata sviluppata in assoluta autonomia l’ipotesi sul “ora di punta” maggiormente gravosa in termini energetici, al fine di soddisfare i dati richiesti dal software di simulazione utilizzato per coadiuvare l’analisi di potenzialità oggetto del presente elaborato.

Nella simulazione è stata prevista una velocità di percorrenza come da fascicolo di linea, con il massimo di 140 km/h per il servizio passeggeri e di 125 km/h per il traffico merci.

Per quanto detto, i dati richiesti dal software, non ricavabili da documenti ufficiali e quindi ipotizzati, consistono in:

- 1) ora del giorno più gravosa in termini di assorbimenti energetici (ora di punta);
- 2) ora di partenza, località delle fermate e loro durata, per ogni tipologia di convoglio circolante nell’ora di punta;
- 3) vista la varietà del parco merci transitante (sia come locomotive che come masse trainate), la tipologia di materiale rotabile merci circolante nel “ora di punta”;
- 4) distinzione tra convogli classificati come “pari” e convogli classificati come “dispari”.

4.7.1 Traffico nell'ora di punta e caratteristiche del materiale rotabile

La simulazione è stata eseguita considerando che nell'ora di punta la tratta Codogno-Bozzolo sia soggetta all'esercizio schematizzato nella sottostante Fig.4.

E' stata considerata la presenza di un unico convoglio circolante sull'intera tratta senza fare distinzione sulla possibile presenza di convogli differenti circolanti in tratte adiacenti.

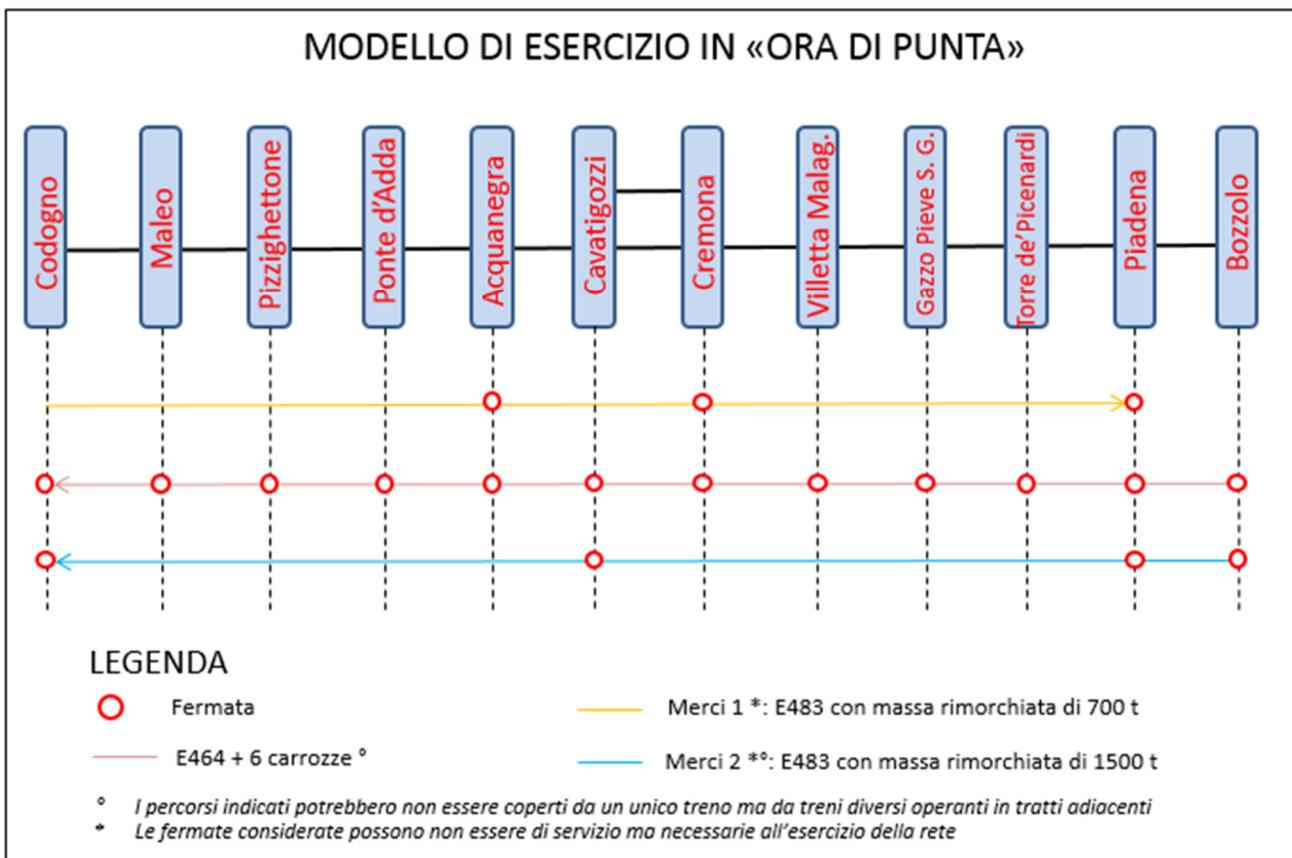


Fig.4. Modello di esercizio in ora di punta.

In Fig.5 si riporta l'orario grafico schematizzante, per l'ora di punta, il numero di treni, l'orario di partenza di ognuno e il tempo impiegato per percorrere la tratta lungo la quale il materiale rotabile effettua il servizio. Come visibile dalla suddetta figura la simulazione del sistema elettrico di trazione è stata eseguita considerando:

a) N° 1 treno con senso di PERCORRENZA DISPARI:

- "Merci 1-" TRAXX E483 (Bombardier) da 700 t di massa trainata.

b) N° 2 treni con senso di PERCORRENZA PARI:

- Regionale E464 + 6 carrozze;
- “Merci 2” - TRAXX E483 (Bombardier) da 1500 t di massa trainata.

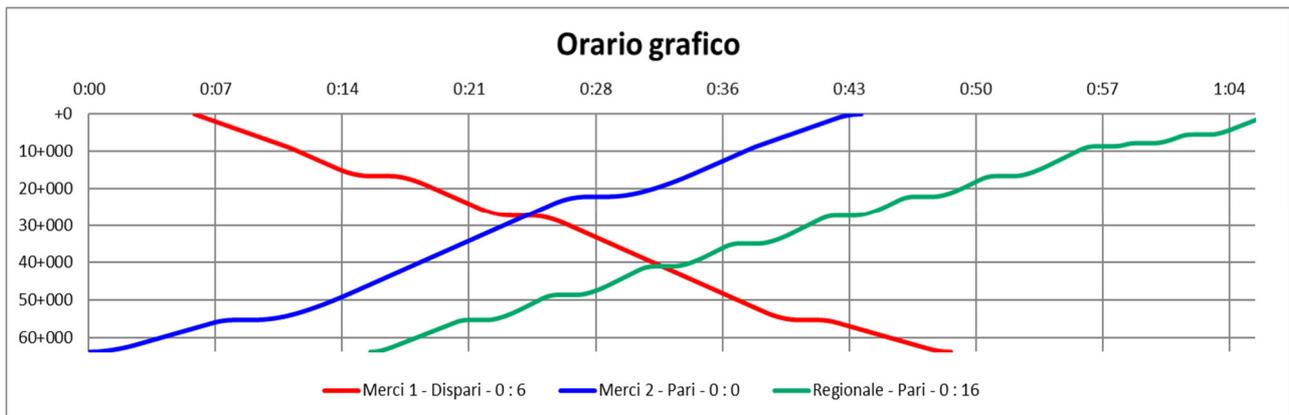


Fig.5. Orario grafico dell'ora di punta.

Per i dati di marcia con il dettaglio delle caratteristiche spazio/velocità e spazio/potenza per ognuno dei convogli succitati si faccia riferimento all'Allegato B.

Nella seguente Tab.5 si riportano invece le caratteristiche del materiale rotabile impiegato nella simulazione del traffico ferroviario.

CARATTERISTICHE DEL MATERIALE ROTABILE			
Categoria treno	Regionale	Merci 1	Merci 2
Tipo di treno	E464 + 6 carrozze	Locomotore TRAXX E483	Locomotore TRAXX E483
Massa trainata	270 t	700 t	1500 t
Velocità massima nel tratto analizzato	140 km/h	125 km/h	125 km/h
Tensione nominale linea	3000 V	3000 V	3000 V
Potenza servizi Ausiliari	200 kW	300 kW	300 kW
Massa Complessiva in servizio	342 t	781 t	1581 t
Rendimento Locomotiva	0,85	0,85	0,85
Coefficiente d'inerzia masse rotanti	1,05	1,05	1,05
Decelerazione costante in piano	0,7 m/s ²	0,3 m/s ²	0,3 m/s ²

Tab.5. Caratteristiche del materiale rotabile.

5. VERIFICA DEL SISTEMA ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE

L' idoneità del sistema elettrico a 3 kVcc è stata analizzata con riferimento ai valori di tensione al pantografo e alla compatibilità del carico elettrico con gli impianti fissi di trazione, nelle 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.

La simulazione della "linea Codogno-Cremona-Bozzolo" è stata eseguita tenendo conto dei carichi interessanti le linee elettrificate con essa interferenti, ovvero:

- linea Milano-Piacenza;
- linea Cremona-Treviglio/Brescia;
- linea Cremona-Piacenza/Fidenza.

Per tali linee sono stati considerati i traffici (carichi) medi attualmente presenti, come da orario treni nella stessa ora ipotizzata come "di punta" per la simulazione. L'aggravio di tali carichi sulla rete elettrica è stato considerato come abbassamento della tensione a vuoto delle SSE di Casalpusterlengo e Cremona, nonché della variazione della resistenza equivalente interna della singola SSE; le suddette valutazioni sono state fatte considerando inoltre le influenze delle SSE di Piacenza, Monticelli e Fidenza, nonché della Cabina TE di Olmeneta.

Lo studio del sistema elettrico di alimentazione è stato portato avanti con l'obiettivo di:

1. non sfiorare i parametri di linea ammessi dalla STI "energia";
2. non sfiorare l'assorbimento massimo di 2400A nella tratta Codogno-Piadena come deducibile dalla disposizione di esercizio n.21 del 15/11/2019;
3. valutare le prestazioni e gli eventuali limiti alla potenzialità della tratta Piadena-Bozzolo alimentata a sbalzo dalla SSE di Piadena per tutto il periodo di esecuzione delle lavorazioni di raddoppio della tratta Bozzolo-Mantova che saranno eseguite in regime di interruzione prolungata di esercizio.

5.1. RISULTATI

La simulazione è stata eseguita applicando il modello di esercizio descritto al paragrafo 4.7.1 all'infrastruttura elettrica attuale così come si configurerà durante l'esecuzione dei lavori del lotto 3, ovvero interamente a singolo binario tra il "Bivio Codogno" e la stazione di Bozzolo, ad eccezione del solo tratto a doppio binario tra Cavatigozzi e Cremona (Fig.2). Lo studio è stato condotto con l'obiettivo di soddisfare i limiti della "STI Energia" e sotto le seguenti ipotesi:

1. Portare al limite la potenzialità della tratta Codogno-Piadena nella configurazione impiantistica attuale e nel rispetto delle velocità di tracciato imposte dal fascicolo di linea;
2. Imporre eventuali limiti per l'esercizio della tratta "a sbalzo" Piadena-Bozzolo al fine di soddisfarne i requisiti della "STI Energia" (con l'imposizione di una tensione minima nella LdC a Bozzolo non inferiore a 2000 V) ed evitare disservizi alla SSE di Piadena in termini di sovraccarico e conseguente possibile intervento intempestivo delle protezioni.

5.1.1 Tensioni

In Tab.6 vengono riportati i valori caratteristici delle tensioni all'archetto e i rispettivi limiti normativi desunti dalle norme CEI EN 50163 e CEI EN 50388.

	Valori ricavati dalla simulazione	Limiti Normativi	ESITO
Tensione media [V]	3150	-	positivo
Tensione media utile [V]	2839	2700	positivo
Tensione minima [V]	2003	2000	positivo

Tab.6. Confronto tra tensioni ottenute dalla simulazione e limiti normativi.

Risulta in generale di particolare importanza la "tensione media utile", che si ritiene opportuno non debba essere inferiore a 2800 V (condizione rispettata) anche se per la categoria di linea considerata è previsto un limite di 2700 V. Come riportato in Tab.6 dalla simulazione emerge

che la “tensione minima” risulta superiore, seppur di poco, alla “tensione minima non permanente” di 2000 V, limite per l’operabilità.

Da notare che i valori caratteristici per la corretta operabilità della linea sono stati “portati a ridosso dei limiti” normativi per permettere il massimo sfruttamento del sistema nella condizione impiantistica “anomala” di alimentazione “a sbalzo” della tratta Piadena-Bozzolo; ciò è stato ottenuto ipotizzando il caso peggiore del treno “Merci 2” da 1500 t allo spunto da Bozzolo e con verso di percorrenza pari. Nonostante tale ipotesi, è da notare comunque che il raggiungimento del picco minimo di tensione non è ascrivibile alla tratta alimentata “a sbalzo” bensì a quella tra Codogno e Cavatigozzi.

L’ipotesi del merci da 1500 t allo spunto da Bozzolo, al fine di rispettare i limiti “STI energia” e la corretta gestione della SSE di Piadena in termini di sovraccarico e conseguente possibile intervento intempestivo delle protezioni, ha richiesto:

- a. Per i treni merci, la limitazione dell’assorbimento di corrente a 1600 A e l’imposizione di una velocità massima di 80 km/h tra le SF di Piadena e Bozzolo;
- b. Per i treni regionali, la limitazione della velocità di percorrenza a 110 km/h.

Tali limitazioni introducono naturalmente riduzioni di potenza, nonché perditempo, che per l’esiguità dell’esercizio ipotizzato “nell’ora di punta” e per il tempo comunque contenuto per percorrere i circa 9 km compresi tra le SF di Piadena e Bozzolo, si ritengono comunque accettabili e poco influenti l’esercizio della tratta; in termini numerici, si registra per il verso di percorrenza pari (più gravoso perché relativo al “Merci 2”) una durata percentuale media di riduzione della potenza rispetto al tempo di percorrenza totale del 15,6%, quantificabile in una riduzione media di potenza del 9,64% rispetto alla potenza richiesta, con un picco del 35,3%.

5.1.2 Correnti, potenze e sovratemperature

In Tab.7 si riportano i valori delle correnti erogate dalle SSE sulla linea.

Confrontando tali valori con quelli caratteristici dei gruppi (Tab.3) e tenendo in considerazione l’impegno delle SSE di Casalpusterlengo e Cremona ad erogare corrente verso altre linee, si riscontra il soddisfacimento dei parametri di sovraccaricabilità dei gruppi nelle SSE. Si noti che la SSE di Piadena soddisfa tutti i limiti normativi, soprattutto in termini di correnti massime, ma solo grazie alle limitazioni imposte agli assorbimenti e alla velocità di percorrenza tra le SF di Piadena e Bozzolo, senza le quali si rischierebbero frequenti disservizi dovuti all’intervento

intempestivo delle protezioni connesse all'unico extrarapido asservito all'alimentazione di tutto ciò che si trova a destra della SSE, stazione di Piadena compresa.

	Corrente media quadratica [A]	Corrente media aritmetica [A]	Corrente massima [A]	Esito verifica
SSE equiv. Casalpuusterlengo²	341	154	1673	Positivo
SSE Cavatigozzi	680	462	1875	Positivo
SSE Cremona³	600	338	2267	Positivo
SSE Piadena	789	474	2872	Positivo

Tab.7. Correnti erogate dalle SSE.

Confrontando le correnti medie quadratiche circolanti nella LdC e le portate dei conduttori di sezione equivalente pari a 320 mm² si può notare che le limitazioni imposte agli assorbimenti e alle velocità di percorrenza della tratta Piadena-Bozzolo permettono anche il contenimento delle sovratemperature ammissibili dalla LdC rispetto alla temperatura ambiente di 40° C.

² Al netto del contributo fornito alla linea Milano-Piacenza.

³ Al netto del contributo fornito alle linee Cremona-Treviglio/Brescia e Cremona-Fidenza.

5.2. CONCLUSIONI

In vista del raddoppio della linea Piadena-Mantova, lotto 3 del progetto di raddoppio della direttrice Codogno-Cremona-Mantova, si è proceduto alla valutazione delle performance della linea nell'assetto che la stessa assumerà durante i lavori in progetto; poiché quest'ultimi prevedono l'interruzione prolungata di esercizio della tratta Bozzolo-Mantova e il mantenimento dell'esercizio sull'attuale singolo binario tra Piadena e Mantova, quest'ultimo si ritroverà ad essere alimentato "a sbalzo" per circa 9,5 km dalla SSE di Piadena. Pertanto, poiché l'architettura di sistema si ridurrà a quella schematizzata in Fig.2, si è proceduto alla simulazione della linea Codogno-Bozzolo al fine di valutarne le condizioni limite in grado di soddisfare i requisiti "STI Energia", ponendo particolare attenzione all'esercizio "a sbalzo" degli impianti compresi tra la SSE di Piadena e la SF di Bozzolo.

Lo studio è stato condotto:

1. Sull'architettura di sistema attualmente esistente tra il "bivio Codogno" e Bozzolo (rif. Fig.2);
2. Ipotizzando il modello di esercizio in "ora di punta" di Fig.4 secondo l'orario grafico di Fig.5;
3. Portando al limite l'esercizio della tratta Codogno-Piadena in modo da soddisfarne i requisiti "STI Energia" secondo le attuali prescrizioni in termini di velocità di tracciato (secondo il vigente fascicolo di linea) ed assorbimenti massimi consentiti (dedotti dalla disposizione di esercizio n.21 del 15/11/2019);
4. Determinando i limiti di esercizio sulla linea "a sbalzo" Piadena-Bozzolo, in termini di velocità massima e assorbimenti, al fine di garantirne il soddisfacimento dei requisiti "STI Energia" e l'efficace gestione in termini di continuità di esercizio.

Nella tratta Piadena-Bozzolo gli obiettivi di cui al precedente punto 4 sono stati raggiunti imponendo una limitazione agli assorbimenti dei treni merci pari a 1600 A e una velocità massima di percorrenza di 80 km/h per i treni merci e di 110 km/h per i treni asserviti al servizio passeggeri. L'imposizione di tali limitazioni e del modello di esercizio di cui alla Fig.4 ipotizzato per l'ora di punta, si ritiene possano permettere:

1. una forte limitazione agli interventi intempestivi delle protezioni della SSE di Piadena con conseguente maggiore garanzia di continuità del servizio;
2. la limitazione dei sovraccarichi nella SSE di Piadena, soprattutto in termini di potenza di picco;
3. il soddisfacimento dei limiti imposti dalla "STI energia" a tutta la tratta da Codogno a Bozzolo;
4. il mantenimento entro i limiti delle sovratemperature (rispetto ai 40°C ambiente) della LdC.

Allegato A. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO

Attuale linea Codogno-Cremona-Bozzolo					
da pk [m]	a pk [m]	xi-xi-1	Pendenza ‰	Raggio curva	Scoperto/ Galleria
+0,00	+0,00	+0,00	+0,00	0	S
+0,00	+431,90	+431,90	-1,09	0	S
+431,90	+731,90	+300,00	-3,16	750	S
+731,90	1+750,00	1+018,10	-0,02	750	S
1+750,00	2+130,00	+380,00	-0,02	0	S
2+130,00	2+731,75	+601,75	0,96	0	S
2+731,75	4+782,50	2+050,75	-0,02	0	S
4+782,50	4+885,77	+103,27	1,87	600	S
4+885,77	5+482,45	+596,68	1,87	0	S
5+482,45	5+482,45	+0,00	-0,70	0	S
5+482,45	5+653,35	+170,90	-0,70	0	S
5+653,35	6+845,93	1+192,58	-8,29	0	S
6+845,93	7+109,53	+263,60	-8,29	500	S
7+109,53	7+301,25	+191,72	-8,29	0	S
7+301,25	7+784,25	+483,00	0,58	0	S
7+784,25	7+784,25	+0,00	0,58	0	S
7+784,25	7+881,57	+97,32	5,75	0	S
7+881,57	8+092,60	+211,03	0,00	0	S
8+092,60	8+185,60	+93,00	-2,00	0	S
8+185,60	8+300,46	+114,86	-0,10	500	S
8+300,46	8+435,12	+134,66	2,50	0	S
8+435,12	8+563,45	+128,33	0,00	450	S
8+563,45	8+626,50	+63,05	-6,50	450	S
8+626,50	8+626,50	+0,00	-6,50	0	S
8+626,50	8+861,10	+234,60	-3,92	0	S
8+861,10	10+764,00	1+902,90	-0,12	0	S
10+764,00	10+962,30	+198,30	3,78	0	S
10+962,30	11+063,40	+101,10	2,47	0	S
11+063,40	11+659,10	+595,70	8,13	0	S
11+659,10	12+316,80	+657,70	0,26	0	S
12+316,80	13+591,80	1+275,00	1,51	0	S
13+591,80	14+089,85	+498,05	0,06	0	S
14+089,85	15+182,70	1+092,85	-5,34	0	S

15+182,70	15+789,35	+606,65	-1,55	0	S
15+789,35	16+089,65	+300,30	3,10	0	S
16+089,65	16+595,00	+505,35	0,06	0	S
16+595,00	16+595,00	+0,00	0,06	0	S
16+595,00	17+047,35	+452,35	0,06	0	S
17+047,35	17+788,00	+740,65	4,50	0	S
17+788,00	18+800,00	1+012,00	0,03	0	S
18+800,00	18+987,10	+187,10	0,03	3000	S
18+987,10	19+365,96	+378,86	-1,79	3000	S
19+365,96	20+389,90	1+023,94	-1,79	0	S
20+389,90	22+089,90	1+700,00	0,01	0	S
22+089,90	22+157,10	+67,20	0,15	0	S
22+157,10	22+157,10	+0,00	0,15	0	S
22+157,10	22+416,30	+259,20	1,94	0	S
22+416,30	23+310,02	+893,72	1,10	0	S
23+310,02	24+127,38	+817,36	-0,27	0	S
24+127,38	24+570,99	+443,61	0,26	0	S
24+570,99	24+817,80	+246,81	-1,26	0	S
24+817,80	25+689,43	+871,63	-2,05	0	S
25+689,43	25+949,43	+260,00	-2,69	0	S
25+949,43	26+280,22	+330,79	-2,69	2077	S
26+280,22	26+795,87	+515,66	-0,64	2077	S
26+795,87	27+329,80	+533,93	0,00	0	S
27+329,80	27+329,80	+0,00	0,00	0	S
27+329,80	28+066,45	+736,65	-0,19	0	S
28+066,45	28+301,36	+234,91	0,31	0	S
28+301,36	28+802,54	+501,18	-0,34	1223	S
28+802,54	29+466,50	+663,96	-0,39	0	S
29+466,50	29+604,87	+138,37	-0,12	0	S
29+604,87	30+056,34	+451,47	-0,20	0	S
30+056,34	30+281,00	+224,66	-1,21	3000	S
30+281,00	30+808,61	+527,61	-1,12	3000	S
30+808,61	31+249,20	+440,59	-0,59	3000	S
31+249,20	31+557,95	+308,75	-0,44	0	S
31+557,95	31+984,98	+427,03	0,18	0	S
31+984,98	32+883,57	+898,58	-0,43	0	S
32+883,57	33+964,72	1+081,16	-0,12	0	S
33+964,72	34+464,59	+499,86	-1,20	0	S
34+464,59	34+665,95	+201,36	0,25	0	S

34+665,95	34+832,00	+166,05	-1,64	0	S
34+832,00	34+832,00	+0,00	-1,64	0	S
34+832,00	34+924,75	+92,75	0,25	0	S
34+924,75	35+171,39	+246,64	-0,79	0	S
35+171,39	35+409,64	+238,25	-0,01	0	S
35+409,64	35+984,39	+574,75	-1,12	0	S
35+984,39	36+598,18	+613,79	-0,07	0	S
36+598,18	36+760,56	+162,38	-1,33	0	S
36+760,56	36+933,67	+173,11	0,25	0	S
36+933,67	37+262,29	+328,62	-0,39	0	S
37+262,29	37+704,49	+442,20	-1,00	0	S
37+704,49	38+103,92	+399,43	-0,89	0	S
38+103,92	38+574,94	+471,02	-0,84	0	S
38+574,94	39+078,79	+503,85	-0,03	0	S
39+078,79	39+613,02	+534,23	0,77	0	S
39+613,02	40+374,48	+761,46	0,24	0	S
40+374,48	40+577,82	+203,34	-1,33	0	S
40+577,82	40+705,53	+127,71	-1,23	0	S
40+705,53	40+837,55	+132,02	-1,54	0	S
40+837,55	40+962,00	+124,45	-0,84	0	S
40+962,00	40+962,00	+0,00	-0,84	0	S
40+962,00	41+135,61	+173,61	-0,84	0	S
41+135,61	41+249,97	+114,35	-1,34	0	S
41+249,97	41+445,77	+195,80	0,00	0	S
41+445,77	41+547,02	+101,25	-1,53	0	S
41+547,02	41+748,28	+201,26	-0,45	0	S
41+748,28	42+292,90	+544,62	-0,88	0	S
42+292,90	42+615,45	+322,55	0,40	0	S
42+615,45	42+949,69	+334,24	-1,92	0	S
42+949,69	43+055,04	+105,35	-0,54	0	S
43+055,04	43+294,21	+239,17	-0,68	0	S
43+294,21	43+579,48	+285,27	0,10	0	S
43+579,48	43+842,19	+262,71	-0,29	0	S
43+842,19	43+971,46	+129,27	-0,95	0	S
43+971,46	44+245,98	+274,53	-1,76	0	S
44+245,98	44+585,27	+339,29	-1,14	0	S
44+585,27	44+732,43	+147,16	0,40	0	S
44+732,43	44+888,36	+155,93	-0,28	0	S
44+888,36	44+990,70	+102,34	0,72	0	S

44+990,70	45+142,91	+152,21	0,05	0	S
45+142,91	45+250,35	+107,43	0,88	0	S
45+250,35	45+375,95	+125,61	0,63	0	S
45+375,95	45+678,35	+302,39	-0,19	0	S
45+678,35	46+903,78	1+225,44	-0,29	0	S
46+903,78	47+695,85	+792,07	-0,08	0	S
47+695,85	47+868,50	+172,65	-0,64	0	S
47+868,50	48+119,32	+250,82	-0,41	0	S
48+119,32	48+310,57	+191,25	-0,81	0	S
48+310,57	48+435,21	+124,64	1,57	0	S
48+435,21	48+582,00	+146,79	-1,39	0	S
48+582,00	48+582,00	+0,00	-1,39	0	S
48+582,00	48+670,67	+88,67	0,71	0	S
48+670,67	48+839,60	+168,93	-0,57	0	S
48+839,60	48+943,32	+103,72	1,74	0	S
48+943,32	49+042,08	+98,76	0,21	0	S
49+042,08	49+135,21	+93,13	-0,31	0	S
49+135,21	49+242,82	+107,61	1,41	0	S
49+242,82	49+468,65	+225,83	-0,24	0	S
49+468,65	50+265,30	+796,65	-1,01	0	S
50+265,30	50+709,38	+444,08	-0,40	0	S
50+709,38	51+461,59	+752,21	0,00	0	S
51+461,59	51+567,00	+105,42	0,34	0	S
51+567,00	51+859,17	+292,17	0,34	2000	S
51+859,17	52+219,73	+360,57	-1,91	2000	S
52+219,73	52+606,04	+386,31	-1,91	0	S
52+606,04	52+872,12	+266,07	-0,54	0	S
52+872,12	52+974,97	+102,85	0,62	0	S
52+974,97	53+454,33	+479,36	-0,21	0	S
53+454,33	54+020,88	+566,55	-0,49	0	S
54+020,88	54+265,21	+244,33	0,10	0	S
54+265,21	54+680,94	+415,73	-1,14	0	S
54+680,94	54+856,28	+175,34	-1,84	0	S
54+856,28	55+073,33	+217,05	-0,44	0	S
55+073,33	55+170,28	+96,95	-1,41	0	S
55+170,28	55+286,00	+115,72	-1,98	0	S
55+286,00	55+286,00	+0,00	-1,98	0	S
55+286,00	55+516,93	+230,93	-0,45	0	S
55+516,93	55+615,53	+98,60	1,27	0	S

55+615,53	55+723,97	+108,44	-0,80	0	S
55+723,97	56+004,40	+280,43	0,00	0	S
56+004,40	57+505,20	1+500,80	-0,53	0	S
57+505,20	58+505,40	1+000,20	-1,40	0	S
58+505,40	60+005,80	1+500,40	-0,38	0	S
60+005,80	62+606,70	2+600,90	-0,38	0	S
62+606,70	62+825,00	+218,30	-3,24	0	S
62+825,00	63+501,20	+676,20	-3,24	1000	S
63+501,20	63+674,10	+172,90	-0,02	1000	S
63+674,10	63+794,80	+120,70	-0,02	0	S
63+794,80	63+794,80	+0,00	-0,02	0	S
63+794,80	66+207,95	2+413,15	-0,02	0	S

Tab.A1. Caratteristiche del tracciato.

Allegato B. SIMULAZIONI DI MARCIA

Gli andamenti della velocità e della potenza in funzione dello spazio, per il materiale rotabile E464 + 6 carrozze con verso di percorrenza pari da Bozzolo a Codogno sono riportati nella seguente Fig.B1.

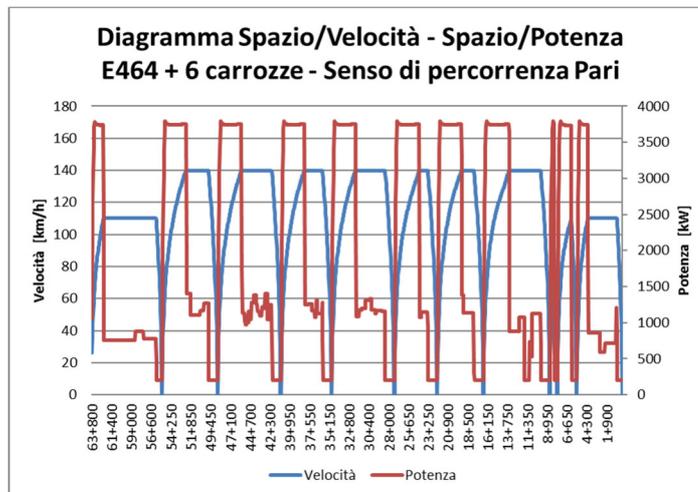


Fig.B1. E464 + 6 carrozze - Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza per verso di percorrenza pari.

Gli andamenti della velocità e della potenza in funzione dello spazio per il Merci da 700 t con verso di percorrenza dispari da Codogno a Piadena sono riportati nella seguente Fig.B3.

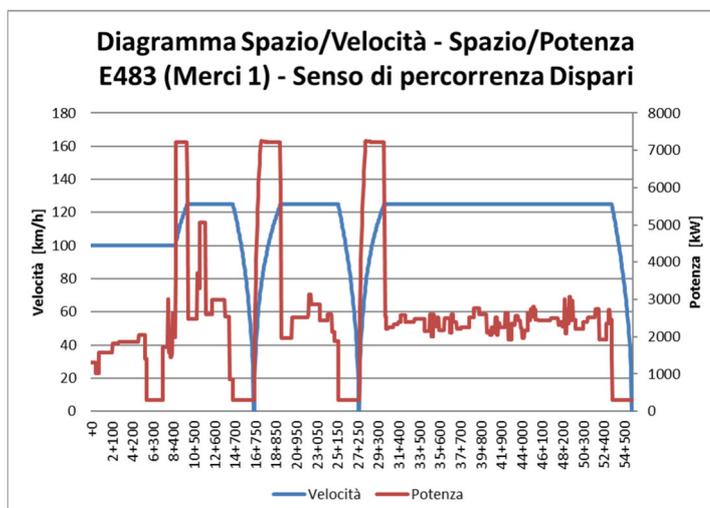


Fig.B3. Merci E483 da 700t - Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza per verso di percorrenza dispari.

Gli andamenti della velocità e della potenza in funzione dello spazio per il Merci da 1500 t con verso di percorrenza pari da Bozzolo a Codogno sono riportati nella seguente Fig.B4.

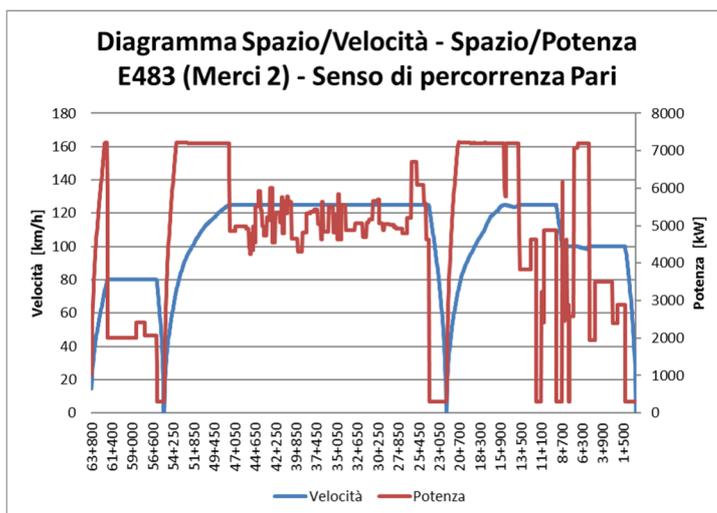


Fig.B4. Merci E483 da 1500t - Diagrammi Spazio/Velocità e Spazio/Potenza per verso di percorrenza pari.