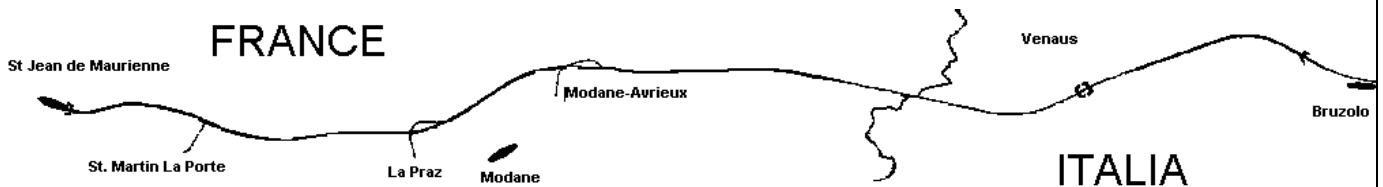


**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE**  
**NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE TRANSALPINE LYON-TURIN**  
**TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA – BRUZOLO**

**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE**  
**DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N° 443/2001**



**PROGETTO PRELIMINARE**

**VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA RETE  
ELETTRICA DI TRAZIONE**

Scala :

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA	AUTORIZZATO
B	EMISSIONE FINALE	B.PERNICENI		JM.VANDECLISSE		M. PRÉ	20.02.03	

Rif. Doc	<b>P P 2 0 8 5 T S E 1 N T E X : : F : : : 1 0 5 0 B</b>
	fase n° S.C. emittente tipo doc. codice geografico oggetto n° doc indice

# Indice

<b>1.</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>IPOTESI BASE .....</b>	<b>4</b>
3.1.	SETTORE IN ESAME.....	4
3.2.	DATI SUL “MATERIALE ROTABILE” .....	4
3.2.1.	<i>Locomotive</i> .....	4
3.2.1.1	<i>TGV-R convoglio semplice con 2 locomotive</i> .....	4
3.2.1.2	BB26000 .....	4
3.2.1.3	BB36000 .....	5
3.2.2	<i>Composizione dei treni e coefficienti dell’equazione di resistenza all’avanzamento</i> .....	6
3.3	DATI SUI « TRACCIATI » DEL 14/10/2002 .....	8
3.4	POTENZA MASSIMA DEI TRENI.....	9
3.4.1	<i>Generalità</i> .....	9
3.4.2	<i>Treni « Merci »</i> .....	9
3.4.3	<i>Treno « Autostrada Ferroviaria »</i> .....	10
3.4.4	<i>TGV-R convoglio doppio</i> .....	10
3.5	SEQUENZA DI LINEE FERROVIARIE CHE ASSORBONO LA POTENZA MASSIMA DURANTE IL NORMALE ESERCIZIO	10
3.6	POTENZA ASSORBITA DAI TRENI AL MOMENTO DELLA LORO PARTENZA DOPO UNA FERMATA. ....	12
3.7	POTENZA ASSORBITA DA UNA SEQUENZA DI TRENI ALLA POTENZA MASSIMA E ALLA VELOCITÀ MASSIMA. ....	12
3.8	SEQUENZA DI LINEE FERROVIARIE CHE ASSORBE LA POTENZA MASSIMA .....	12
3.8.1	<i>Generalità</i> .....	12
3.8.1.1	Distanza minima tra 2 teste di treni .....	12
3.8.1.2	Lunghezze di riferimento.....	15
3.8.2	<i>Sequenza mista di treni « Merci 1500 t - 120 km/h » e « AF-4270 t - 120 km/h »</i> .....	15
<b>4</b>	<b>RETE DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA PER TRAZIONE .....</b>	<b>17</b>
4.1	ARCHITETTURA.....	17
4.2	ALIMENTAZIONE DELLE SOCIETÀ DI EROGAZIONE DI ENERGIA.....	17
4.2.1	<i>Possibilità delle reti ENEL e EDF</i> .....	17
4.3	DESCRIZIONE DELLE TRE SOTTOSTAZIONI .....	18
4.3.1	<i>Sottostazioni</i> .....	18
4.3.1.1	<i>Generalità</i> .....	18
4.3.1.2	Saint Jean de Maurienne (LONGEFAN ).....	18
4.3.1.2.1	Parte « linee di arrivo » .....	18
4.3.1.2.2	Parti dei gruppi di trasformazione .....	18
4.3.1.3	MODANE .....	18
4.3.1.3.1	Parti dei gruppi di trasformazione .....	18
4.3.1.3.2	Parti della serie di barre secondarie di Media Tensione .....	19
4.3.1.4	BRUZOLO .....	19
4.3.1.4.1	Parti dei gruppi di trasformazione .....	19
4.3.1.4.2	Parti della serie di barre secondarie di Media Tensione .....	19
4.3.2	<i>Cavi di raccordo alla catenaria a MODANE</i> .....	19
4.4	CIRCUITO DI RITORNO DELLA TRAZIONE, RETE DI TERRA .....	19

4.5	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE MESSO IN OPERA.....	20
4.5.1	<i>La catenaria ( Si veda il piano APS 2085 TSE1 SCGA S12231)</i> .....	20
4.5.1.1	Posizione dei conduttori nella galleria.....	20
4.5.1.2	Sezione e natura dei conduttori.....	20
4.5.2	<i>Cabine per gli autotrasformatori a secco 50kV / 25kV</i> .....	21
4.6	STUDIO DI VERIFICA NEL CASO DI DUE GALLERIE .....	21
4.6.1	<i>Situazione normale</i> .....	21
4.6.2	<i>Situazione compromessa</i> .....	21
<b>5</b>	<b>CALCOLI DI VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO – SINTESI E CONCLUSIONI.....</b>	<b>22</b>
5.1	CONDIZIONI NORMALI.....	22
5.2	SITUAZIONI COMPROMESSE.....	23
5.3	CONCLUSIONI.....	24

## 1. Scopo del documento

Questo documento si riferisce all'alimentazione per trazione di un collegamento ferroviario costituito da due gallerie, ciascuna delle quali è riservata ad un senso di marcia ; le stesse gallerie, però, sono anche idonee per consentire eventualmente il traffico in senso inverso, in caso di necessità.

In conformità con la soluzione raccomandata negli studi del Progetto di Massima, questa alimentazione è del tipo « 2 x 25 kV » monofase e utilizza autotrasformatori a secco.

Tenuto conto delle scelte, dei vincoli tecnici e di esercizio, è necessario dimostrare che la rete di alimentazione considerata abbia sufficiente potenzialità.

La potenzialità deve essere verificata sia per una situazione normale sia per una situazione di evacuazione per emergenza quando occorre fare retrocedere i convogli, per quanto riguarda i seguenti aspetti :

- sufficiente potenza elettrica
- accettabile riscaldamento della catenaria
- accettabile caduta di tensione
- valori di corto circuito alla catenaria
- verifica delle tensioni massime nei principali conduttori
- calcolo del tasso di squilibrio
- calcolo della compensazione in caso si ecceda il tasso di squilibrio consentito.

Per fare questo è necessario definire l'entità di tutti i parametri di traffico e di gestione del traffico nelle situazioni peggiori che si potrebbero presentare durante l'esercizio.

## 2. Documenti di riferimento

- Documento SNCF – direzione di ingegneria - IGTE : Alpetunnel : « Alimentazione con energia di trazione della futura galleria transalpina St. Jean de Maurienne-Susa del 4 settembre 1998
- Lyon Turin Ferroviaire S.A.S – Studi di approfondimento tecnico per la sicurezza e l'esercizio : « Scelta degli scenari della messa in fasi » del 14 giugno 2002 - Rev. 1)
- Nuovo collegamento ferroviario Lyone-Torino, Tratta comune della sezione internazionale tra St. Jean de Maurienne (Francia) e Bruzolo (Italia) – Disciplinari funzionali versione B del 31/07/2002
- Documento della CIG (Commissione InterGovernativa)
- « Studio di approfondimento tecnico, per la sicurezza e l'esercizio - offerta : volume 2 : Parte specifica dell'offerta relativa al lotto 1, riferimento : JOCE 2002/S36-028320 » del 8 aprile 2002
- Nota interna al Lotto 1: 8900 AA / NG 20435 A del 13/8/2002

### 3. Ipotesi base

#### 3.1. Settore in esame

Lo studio verte sulla concessione della linea ferroviaria che va dall'entrata in S<sup>t</sup> Jean de Maurienne PK : -1,825 km (in Francia) all'uscita di Bruzolo PK = +71,957 km (in Italia).

#### 3.2. Dati sul "materiale rotabile"

##### 3.2.1. Locomotive

##### 3.2.1.1 TGV-R convoglio semplice con 2 locomotive

TIPO	TGV-R convoglio semplice
Massa totale del treno	416 t
Lunghezza del treno	200,2 m
Inerzia	1,05 kg.m <sup>2</sup>
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (coseno φ)	0,9
Potenza nominale (al cerchione)	8.800 kW
Rendimento	0,9
Sforzo massimo alla partenza	220.000 N
Velocità massima autorizzata	220 km/h
Potenza dei motori ausiliari	350 kW (fattore di potenza = 0.7)

Si ricava pertanto che la potenza elettrica massima è :

$$[8.800 \times 10^{-3}/(0,9 \times 0,9)] + [(350 \times 10^{-3})/0,7] = 11,364 \text{ MVA}$$

##### 3.2.1.2 BB26000

TIPO	BB2600
Massa totale del treno	91 t
Lunghezza del treno	17,5 m
Inerzia	1,09 kg.m <sup>2</sup>
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (coseno φ)	0,9
Potenza nominale (al cerchione)	5.600 kW
Rendimento	0,9
Sforzo massimo alla partenza	320.000 N
Velocità massima autorizzata	100 o 120 km/h a seconda del tipo di convoglio
Potenza dei motori ausiliari	50 kW (fattore di potenza = 0.7)

Si ricava pertanto che la potenza elettrica massima è :

$$[5.600 \times 10^{-3}/(0,9 \times 0,9)] + [(50 \times 10^{-3})/0,7] = 6,985 \text{ MVA}$$

### 3.2.1.3 BB36000

<b>TIPO</b>	<b>BB3600</b>
Massa totale del treno	90 t
Lunghezza del treno	20 m
Inerzia	1,07 kg.m <sup>2</sup>
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (coseno φ)	0,95
Potenza nominale (al cerchione)	6.000 kW
Rendimento	0,9
Sforzo massimo alla partenza	320.000 N
Velocità massima autorizzata	100 o 120 km/h a seconda del tipo di convoglio
Potenza dei motori ausiliari	50 kW (fattore di potenza = 0.95)

Si ricava pertanto che la potenza elettrica massima è :

$$[6.000 \times 10^{-3}/(0,9 \times 0,95)] + [(50 \times 10^{-3})/0,95] = 7,070 \text{ MVA}$$

### 3.2.2 Composizione dei treni e coefficienti dell'equazione di resistenza all'avanzamento

N°	Designazione di SNCF	Designazione del Lotto 1	Composizione	Lunghezza (metri)	Categoria SNCF	Velocità (km/h)	Massa totale del treno (t)	A (Newton)	B (N/(m/s))	C (N/(m/s)**2)
1	Merci leggero	FR 1000t 750m	LOC+ R_MA_+17t	750	MA 100	100	1091	10142	392	155
2	Combinato	FR 1500t 750m	LOC+ R_ME+LOC	750	ME 120	120	1682	12756	607	159
3	Merci pesante	FR 1600t 750m	LOC+R_MA_+17t+ LOC	750	MA 100	100	1782	13219	642	159
4	AF 750m	AF 2160t 750m (B)	LOC + R_AF + LOC	750	ME 120	120	2342	23200	843	183
5	AF 1500m	AF 4270t 1500m	LOC + R_AF + LOC + LOC + R_AF+ LOC	1500	ME 120	120	4634	46400	1668	287
6	TGV semplice	TGV-R(1 convoglio)	TGV-R	200	AUTOM	220	416	2540	150	13
7	TGV doppio	TGV-R (2 convogli)	TGV-R + TGV-R	400	AUTOM	220	832	5080	300	29

#### Legenda

FR = Treno merci tradizionale

AF = Autostada Ferroviaria

TGV-R = TGV "Réseau"

LOC = Locomotiva BB 36000 per « AF 750m », « AF 1500m » e « Merci leggero »

Nella casella dei nomi, le masse indicano il carico lordo del traino e le loro lunghezze (750 m o 1500 m) inclusa la locomotiva.

Le masse delle Autostrade Ferroviarie (AF) sono stimate in :

<i>AUTOSTRADA FERROVIARIA</i> (AF)	AF 750m	AF 1500m	Formula
Tara del CAMION	12t	12t	A
Tara del Vagone AF	30t	30t	B
Carico del CAMION	20t	20t	C
Tasso di riempimento in CAMION	100%	100%	D
Numero di vagoni AF	34	68	E
Massa SONIA	50t	50t	F
Massa totale del traino	2 160t	4 270t	( A+B+CxD ) x E + F
Massa locomotiva	91t	91t	
Numero di locomotive	2	4	
Massa totale del convoglio	2 342	4 634	
Lunghezza totale del convoglio <i>(compresa la lunghezza delle locomotive)</i>	750m	1 500m	

La resistenza all'avanzamento (R) è stimata in base alla seguente formula :

$$R = A + B.V + C.V^2 \quad (N)$$

V = Velocità del treno (m/s)

A = Valore costante (N)

B = Valore costante (N.m<sup>-1</sup>.s)

C = Valore costante (N.m<sup>-2</sup>.s<sup>2</sup>)



### 3.3 Dati sui « tracciati » del 14/10/2002

Osservazione :

La pendenza negativa corrisponde a una « discesa » e la pendenza positiva corrisponde a una « salita ».

PK-Fr km	PK-It km	Dist.Parzi ale km	Pendenza mm/m	Quota m	
-35,256	151,013	2,000	0,00	258	Origine sorpasso di Laissaud
-33,256	149,013	18,950	9,00	258	Imbocco ovest della galleria di Belledonne
-14,306	130,063	0,950	-1,00	429	
-13,356	129,113			428	
					Imbocco est della galleria di Belledonne
-12,556	128,313	0,800	11,00	437	
		1,580	0,00		
-10,976	126,733	1,830	3,00	437	
-9,146	124,903	1,100	6,00	442	
-8,046	123,803	5,990	12,00	449	Imbocco ovest della galleria di Rocheray
-2,056	117,813	0,231	12,00	521	Imbocco est della galleria di Rocheray
-1,825	117,582			523	Trincea coperta <b>PK INIZIO CONCESSIONE</b> Passaggio RD 906
-1,000	116,757	0,825	12,00	533	
		0,420	12,00		
-0,580	116,337	0,580	4,70	538	
0,000	115,757			541	Saint Jean de Maurienne
0,270	115,487	0,270	4,70	542	
		0,680	12,50		
0,950	114,807	0,917	12,00	553	
1,867	113,890	0,019	12,00	564	Imbocco ovest della galleria di Base (galleria d'Ambin)
1,886	113,871	0,292	12,00	564	
2,178	113,579	0,291	12,00	568	
2,469	113,288	25,537	6,50	571	

28,006	87,751			737	Imbocco est della galleria di Base (galleria d'Ambin) (PK 61,24438 da Torino)
32,968	82,789	4,962	2,00	747	
54,513	61,244	21,545	-8,49	564	
54,584	61,173	0,071	-8,49	563	Attraversamento della Val Cenisca (Venaus)
54,672	61,085	0,088	-8,52	563	
		1,439	-1,20		
56,111	59,646			562	Imbocco ovest della galleria di Bussoleno
68,568	47,189	12,457	-11,40	420	Imbocco est della galleria di Bussoleno
71,256	44,501	2,688	-7,79	399	Origine del Raccordo verso Torino Bruzolo (Zona di manutenzione + sicurezza)
71,528	44,229	0,273	0,00	399	
71,957	43,800	0,429	3,92	400	
					<b>PK FINE CONCESSIONE</b>
		0,025			Imbocco ovest della galleria di Gravio
75,951	39,781	3,994	1,50	406	

### 3.4 Potenza massima dei treni

#### 3.4.1 Generalità

I treni « Merci » e « Autostrade Ferroviarie » che assorbono la maggior potenza sono quelli che utilizzano le locomotive BB36000.

La potenza che le locomotive devono trasmettere al cerchione è funzione della :

- Resistenza all'avanzamento, che a sua volta è funzione della massa del treno, delle resistenze meccaniche (inclusa la resistenza al rotolamento ruota-rotaia), degli attriti, della velocità e delle caratteristiche aerodinamiche del treno.
- Inerzia del treno
- Profilo dei binari (pendenze positive/negative e curve)

#### 3.4.2 Treni « Merci »

Tenuto conto dei limiti di velocità di crociera imposti a ciascun tipo di treno Merci, i risultati dei calcoli delle simulazioni della potenza che la locomotiva deve trasmettere al cerchione indicano che il treno « Merci 1500 tonnellate » (il cui limite di velocità è di 120 km/h) è quello che mantiene per maggior tempo la potenza massima durante il percorso sia di andata che di ritorno tra Laissaud e Bruzolo.

Il treno « Merci 1500 tonnellate » è dotato di due locomotive BB36000. Questo treno assorbe dunque una potenza massima pari a :

$$P_{el. \max} : 2 \times 7,07 = 14,14 \text{ MVA}$$

### 3.4.3 Treno « Autostrada Ferroviaria »

Poiché tutti i treni « Autostrada Ferroviaria » hanno lo stesso limite di velocità di 120 km/h, il treno che assorbe la maggior potenza è quello che ha la massa maggiore e il cui numero di locomotive è più importante. Questo fatto è confermato dai risultati dei calcoli di simulazione della potenza al cerchione su diversi treni « Autostrada Ferroviaria » nel complesso dei percorsi.

Il treno « Autostrada Ferroviaria, 4270 tonnellate (1500m) » dotato di 4 locomotive BB36000 è dunque quello che assorbe la potenza maggiore. Questo treno assorbe una potenza massima di :

$$P_{el. \max} : 4 \times 7,070 = 28,28 \text{ MVA}$$

### 3.4.4 TGV-R convoglio doppio

La potenza massima assoluta assorbita da questo treno è di :

$$P_{el. \max} : 2 \times 11,364 = 22,728 \text{ MVA}$$

## 3.5 **Sequenza di treni che assorbono la potenza massima durante il normale esercizio**

La prima cosa da definire è la griglia di riferimento. Tenuto conto delle informazioni contenute nello studio per l'esercizio, si deve scegliere una condizione di riferimento attraverso la quale si determina il maggior numero di treni che assorbono la potenza massima.

La condizione che si assume è la seguente :

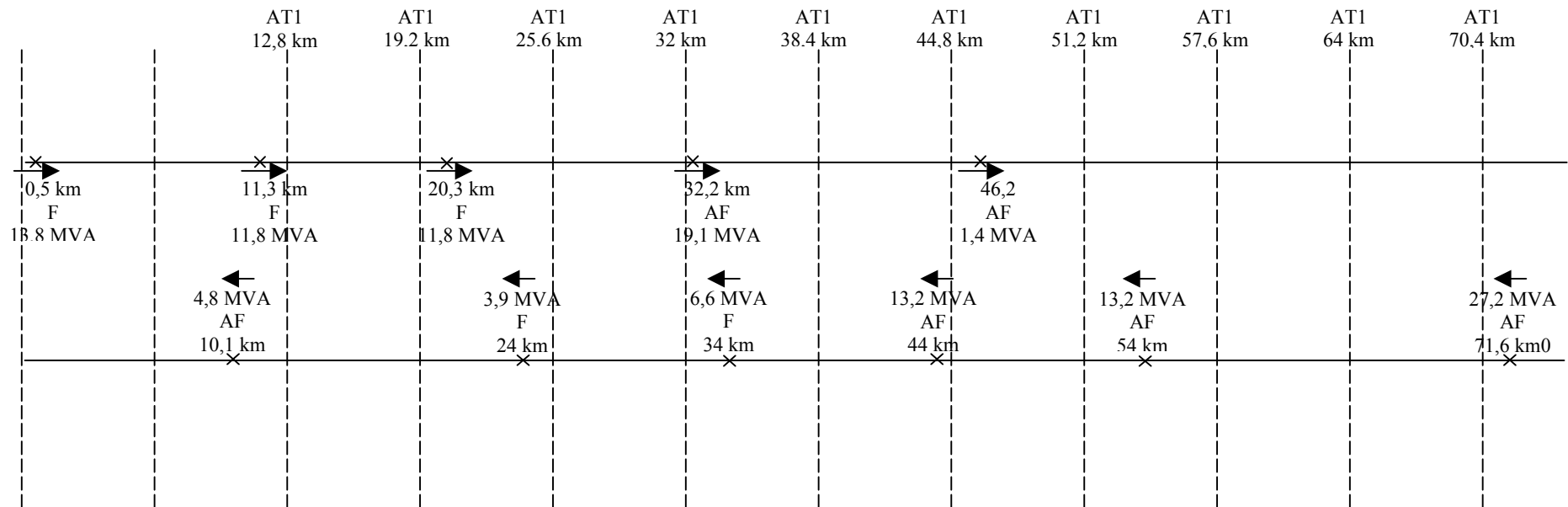
**SSE1**

**SSE2**  
**32 km**

**SSE3**  
**74 km**

**Francia**

**Italia**



Posizione e potenza dei treni - Griglia normale

### **3.6 Potenza assorbita dai treni al momento della loro partenza dopo una fermata.**

Durante la partenza dei treni il sistema elettronico di controllo dell'alimentazione elettrica dei motori limita la potenza affinché lo sforzo al cerchione permetta di conservare l'aderenza. Questa limitazione impedisce alla locomotiva di sviluppare la sua piena potenza. Pertanto, non sarà questo il momento in cui si raggiungerà la potenza massima.

### **3.7 Potenza assorbita da una sequenza di treni alla potenza massima e alla velocità massima.**

Quando i treni viaggiano alla velocità massima la potenza assorbita da ciascun treno è quella massima, ma anche le distanze tra treni raggiungono il valore massimo. A causa di ciò le potenze sono ripartite meglio sulla linea, e questo non rappresenta il caso peggiore.

### **3.8 Sequenza di treni che assorbe la potenza massima**

#### **3.8.1 Generalità**

Per un dato treno, la potenza massima prelevabile dalla catenaria è compresa tra :

- la velocità  $v_1$  oltre la quale l'aderenza è garantita dallo sforzo massimo corrispondente;
- la velocità massima  $v_{max}$  autorizzata in fase di esercizio.

Per una data sequenza di treni, la situazione peggiore per quanto riguarda la potenza assorbita corrisponde a quando :

- tutti i treni assorbono la loro potenza massima (fase di accelerazione massima per raggiungere la  $v_{max}$ )
- tutti i treni, nelle circostanze suddette, si succedono il più da vicino possibile

Le circostanze corrispondenti sono date dalla velocità di circolazione  $v_1$  e da un intervallo tra treni come è indicato nello schema che segue.

#### **3.8.1.1 Distanza minima tra 2 teste di treni**

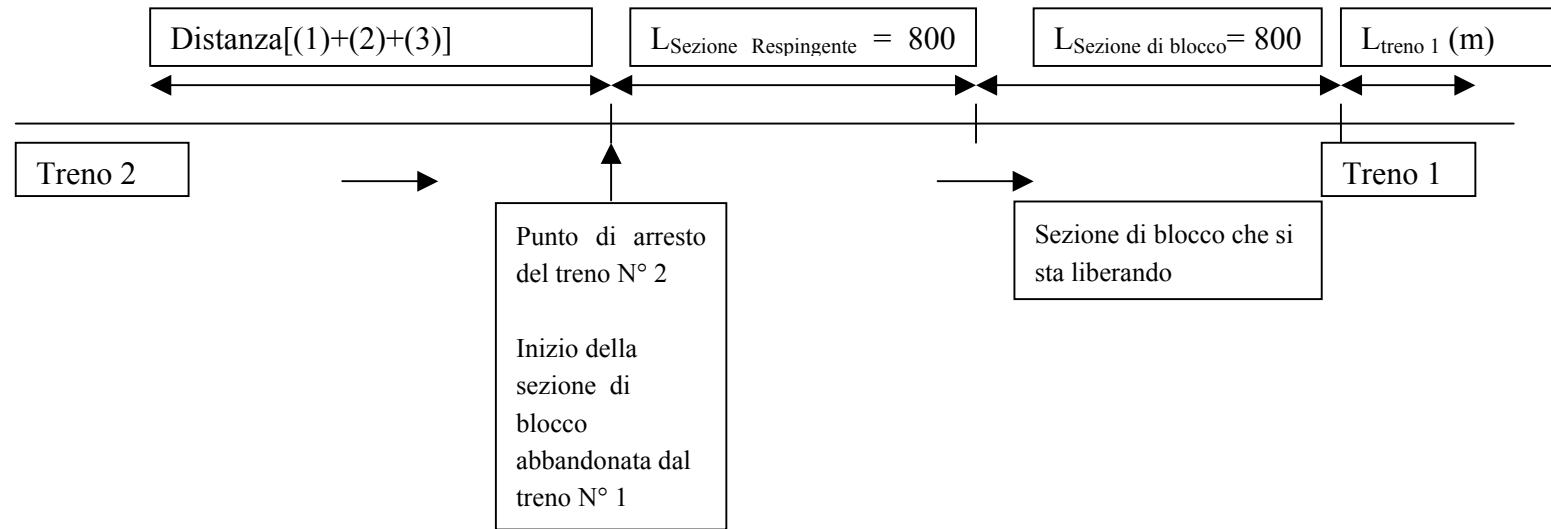
(si veda il grafico che segue)

Considerata da un punto di vista pessimistico, sebbene ancora realistico, la distanza tra le due teste di treni successivi è pari alla somma tra :

- (1) distanza percorsa durante il tempo di reazione del sistema di segnalamento fisso
- (2) distanza percorsa durante il tempo di reazione del treno (apparecchiature di bordo, freni, ...)
- (3) distanza di frenata

- (4) lunghezza della sezione all'inizio della quale il treno che segue si deve fermare.
- (5) lunghezza della sezione di blocco che il treno che precede sta per liberare.
- (6) lunghezza del treno che precede

La lunghezza della sezione di blocco è assunta pari a 800 m, che rappresenta la condizione più sfavorevole per quanto riguarda la distanza tra treni, e dunque anche in termini di potenza totale assorbita, rispetto ai 1200 m che si prevedono nel caso del segnalamento tradizionale.



- |  |             |
|--|-------------|
| (1) Tempo di reazione del sistema fisso  | = 3 secondi |
| (2) Tempo di reazione del treno  | = 6 secondi |
| (3) Distanza di frenata (con una decelerazione di servizio di almeno $0,6 \text{ m/s}^2$ secondo la norma STI) : |             |
| • <i>Merci 1500 tonnellate - 72 km/h</i>   | = 333 m     |
| • <i>Autostrada Ferroviaria 4270 tonnellate - 72 km/h</i>  | = 333 m     |
| • <i>TGV-R convoglio doppio - 220 km/h</i>   | = 400 m     |
| (4) Lunghezza della sezione respingente  | = 800 m     |
| (5) Lunghezza della sezione di blocco  | = 800 m     |
| (6) Lunghezza del treno che precede  |             |
| • <i>Merci 1500 tonnellate</i>   | = 750 m     |
| • <i>Autostrada Ferroviaria 4270 tonnellate</i>  | = 1500 m    |
| • <i>Autostrada Ferroviaria 4270 tonnellate</i>  | = 400 m     |

Calcolo della distanza di frenata :

- tempo di frenata con decelerazione costante =  $v/a = (72/3,6) \text{ (m/s)} / 0,6 \text{ (m/s}^2) = 33,33 \text{ s}$
- distanza di frenata =  $a.t^2/2 = 0,6.(33,33)^2/2 = 333,27 \text{ m}$

Calcolo della distanza minima tra un treno Merci-1500t e una « Autostrada Ferroviaria 4270t » (o tra due treni Merci-1500t) che procedono entrambi alla velocità di 72 km/h :  $9(\text{sec}).20 \text{ (m/s)} + 333 \text{ (m)} + 1600 \text{ (m)} + 750 \text{ (m)} = 2863 \text{ m}$

Calcolo della distanza minima tra una « Autostrada Ferroviaria 4270t » e un treno Merci-1500t (o tra due « Autostrada Ferroviaria 4270t ») che procedono entrambi alla velocità di 72 km/h :  $9(\text{sec}).20 \text{ (m/s)} + 333 \text{ (m)} + 1600 \text{ (m)} + 1500 \text{ (m)} = 3613 \text{ m}$

### 3.8.1.2 Lunghezze di riferimento

Richiamo :

- Ogni 400 m c'è un ramo
- Ogni 1.600 m il ramo è dotato di un locale tecnico
- Ogni 6.400 m il ramo è in grado di accogliere gli autotrasformatori

Ne consegue che :

- Le sezioni di blocco avranno una lunghezza di 800 metri.
- I sezionamenti della catenaria saranno disposti ogni 1.600 metri.
- Gli autotrasformatori saranno sistemati ogni 6.400 metri

### 3.8.2 Sequenza mista di treni « Merci 1500 t - 120 km/h » e « AF-4270 t - 120 km/h »

La sequenza di treni che richiede il fabbisogno di potenza maggiore non potrà comportare più di 3 Autostrade Ferroviarie su 7 treni che siano presenti nello stesso momento in ciascuna galleria. L'intervallo adottato dai treni è quello minimo che garantisce il funzionamento ottimale e il più ravvicinato possibile in perfetta condizione di sicurezza (si veda il paragrafo « generalità » che precede).

La sequenza è la seguente :



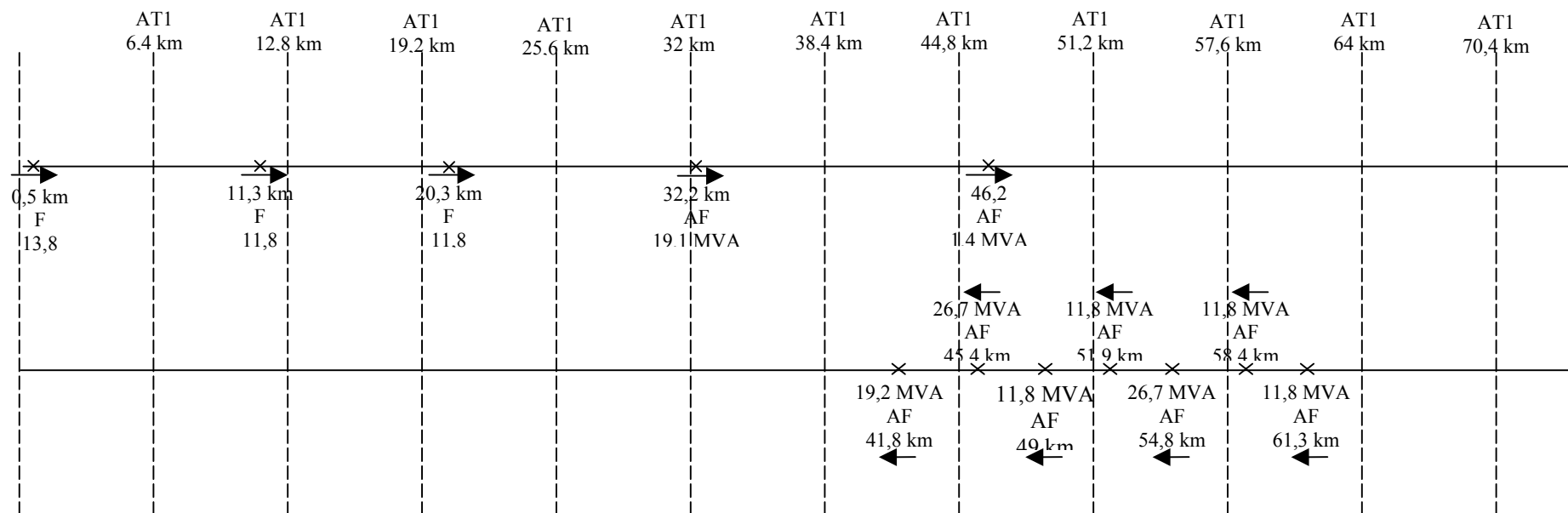
**SSE1**

**SSE2**  
**32 km**

**SSE3**  
**74 km**

**Francia**

**Italia**



Posizione e potenza dei treni - Griglia di punta

Per garantire la retrocessione agevolmente del convoglio in tutte le circostanze e assicurare gli interventi necessari in caso di inconvenienti o di sinistro, il sistema di segnalamento ferroviario autorizzerà soltanto un numero massimo simultaneo di 7 treni in una galleria (si veda la descrizione del sistema di segnalamento).

NB : In una situazione normale, il numero massimo che si nota sui grafici di esercizio è solo di 6 treni.

I 7 treni in galleria sono sistemati in modo tale da assorbire la loro potenza massima.

## **4 Rete di alimentazione elettrica per trazione**

### **4.1 Architettura**

L'architettura prevista nell'APS, si basa su tre sottostazioni situate rispettivamente a Modane, a Saint Jean de Maurienne e a Bruzolo con alimentazione catenaria 2x25 kV e autotrasformatori a secco ogni 6,4 km di linea. Si veda il grafico di riferimento ( APS 2085 TSE1SCGA S 1223).

### **4.2 Alimentazione delle società di erogazione di energia**

#### **4.2.1 Possibilità delle reti ENEL e EDF**

Per l'alimentazione della galleria saranno utilizzate tre cabine di alimentazione :

- LONGEFAN (St Jean de Maurienne) PCC stimata : 3.500 MVA
- VILLARODIN / PRAZ ST. ANDRE : 7.000 MVA
- BRUZOLO : 5.000 MVA

La sottostazione di St Jean de Maurienne è alimentata a 225 kV con una variazione massima di tensione di - 10 % / +15 % mediante la rete EDF a Longefan .

La sottostazione di MODANE è alimentata a 225 kV con una variazione massima di tensione di - 10 % / + 15 % mediante la rete EDF a Villarodin.

La sottostazione di BRUZOLO è alimentata a 132 kV con una variazione massima di tensione di - 10 % / +15 % a partire dalla stazione ENEL a 380 kV dove sarà installato un autotrasformatore 380/132 kV, 250 MVA esclusivamente dedicato all'alimentazione ferroviaria monofase.

I compensatori dello squilibrio causato dalla corrente ferroviaria sono previsti a LONGEFAN e, se necessario (in funzione dei risultati dello studio di verifica), a BRUZOLO.

### 4.3 Descrizione delle tre sottostazioni

#### 4.3.1 Sottostazioni

##### 4.3.1.1 Generalità

Ogni sottostazione è dotata di una doppia alimentazione prevista da EDF e ENEL per alimentare due serie di barre.

Sono installati due trasformatori, anche se soltanto uno è sufficiente per soddisfare i fabbisogni della trazione.

##### 4.3.1.2 Saint Jean de Maurienne (LONGEFAN )

###### 4.3.1.2.1 Parte « linee di arrivo »

###### 4.3.1.2.2 Parti dei gruppi di trasformazione

- Serie di sbarre di Alta Tensione
- Sezionatori
- Interruttori automatici bipolari di protezione del trasformatore
- Trasformatore a bagno d'olio monofase con presa centrale :

Potenza nominale ( $P_N$ )	60 MVA
Tensione primaria nominale ( $U_{1N}$ )	225 kV
Tensione secondaria nominale ( $U_{2N}$ )	2 x 27,5 kV
Tensione di corto-circuito ( $u_{cc}$ )	10 %
Tempo massimo con sovraccarico del 50% per ciclo di 4 ore	15 minuti
Tempo massimo con sovraccarico del 100% per ciclo di 4 ore	5 minuti

##### 4.3.1.3 MODANE

###### 4.3.1.3.1 Parti dei gruppi di trasformazione

- Serie di sbarre di Alta Tensione
- Sezionatori
- Interruttori automatici bipolari di protezione del trasformatore
- Trasformatore a bagno d'olio monofase con presa centrale :

Potenza nominale ( $P_N$ )	60 MVA
Tensione primaria nominale ( $U_{1N}$ )	225 kV
Tensione secondaria nominale ( $U_{2N}$ )	2 x 27,5 kV
Tensione di corto-circuito ( $u_{cc}$ )	10 %
Tempo massimo con sovraccarico del 50% per ciclo di 4 ore	15 minuti
Tempo massimo con sovraccarico del 100% per ciclo di 4 ore	5 minuti

#### 4.3.1.3.2 Parti della serie di sbarre secondarie di Media Tensione

La serie di sbarre secondarie è formata da due conduttori, il primo a +25 kV (linea di contatto) e il secondo a -25 kV (alimentatore negativo).

#### 4.3.1.4 BRUZOLO

##### 4.3.1.4.1 Parti dei gruppi di trasformazione

- Serie di sbarre di Alta Tensione
- Sezionatori
- Interruttori automatici bipolari di protezione del trasformatore
- Trasformatore a bagno d'olio monofase con presa centrale :

Potenza nominale ( $P_N$ )	60 MVA
Tensione primaria nominale ( $U_{1N}$ )	132 kV
Tensione secondaria nominale ( $U_{2N}$ )	2 x 27,5 kV
Tensione di corto-circuito ( $u_{cc}$ )	10 %
Tempo massimo con sovraccarico del 50% per ciclo di 4 ore	15 minuti
Tempo massimo con sovraccarico del 100% per ciclo di 4 ore	5 minuti

##### 4.3.1.4.2 Parti della serie di barre secondarie di Media Tensione

La serie di sbarre secondarie è formata da due conduttori, il primo a +25 kV (linea di contatto) e il secondo a -25 kV (alimentatore negativo).

#### 4.3.2 Cavi di raccordo alla catenaria a MODANE

Questi cavi sono disposti nella discenderia. Sono separati in 2 x 10 cavi (10 per trasformatore) mediante una paratia anti incendio (si veda lo schema).

Dei 10 cavi, 5 sono collegati alla linea di contatto di ciascuna delle 2 gallerie e 5 all'alimentatore negativo di ognuno delle 2 gallerie (si veda lo schema).

Lunghezza della discenderia tra la sottostazione e la(le) galleria(gallerie)	4 km
Sezione dei cavi :	modellizzata con cavo coassiale da 630 mm <sup>2</sup>

#### 4.4 Circuito di ritorno della trazione, rete di terra

E' realizzato mediante un cavo isolato posato lungo la galleria che collega tutte le attrezzature della catenaria.

## 4.5 Caratteristiche del materiale messo in opera

### 4.5.1 La catenaria ( Si veda il piano APS 2085 TSE1 SCGA S12231)

#### 4.5.1.1 Posizione dei conduttori nella galleria

	X (metri)	Y (metri)
Centro di riferimento : asse dei binari a livello della superficie delle rotaie	0	0
Corda portante	-0,20	+6,13
Filo di contatto	-0,20	+5,58
Alimentatore di linea +25 kV		
Alimentatore isolato -25kV :	-2,73	4,60
Conduttore di protezione aerea	-3,30	4,60
Cavo di messa a terra	-3,30	0,64
Rotaia sinistra	-0,7175	0
Rotaia destra	+0,7175	0

Ogni 100 metri, una linea equipotenziale collega il conduttore di protezione aerea con il cavo di messa a terra.

La distanza minima tra gli assi delle gallerie di andata e ritorno è di 25 metri.

#### 4.5.1.2 Sezione e natura dei conduttori

Isolamento delle masse metalliche :

- rotaie = 25 Ohm/ km (isolamento per 1 rotaia)
- cavo di protezione aerea = 1 Ohm/km
- schermo per gli alimentatori isolati = gli schermi protettivi sono interrotti ogni 1500 m circa e messi a terra ad una loro estremità.

	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Composizione
Corda portante	182 =182x0,72=130	Bronzo Rame
Filo di contatto	150	100% rame
Alimentatore di linea +25 kV	0	
Alimentatore isolato -25kV :	307	Al-Acciaio Al
Conduttore di protezione aerea	147	Al
Cavo di messa a terra	95	Cu

**IMPORTANTE** : i calcoli di verifica permetteranno di convalidare la scelta definitiva nel momento in cui saranno eseguiti.

#### 4.5.2 Cabine per gli autotrasformatori a secco 50kV / 25kV

Potenza nominale ( $P_N$ )	10 MVA
Tensione primaria nominale catenaria- alimentatore ( $U_{1N}$ )	55 kV
Tensione secondaria nominale alimentatore-rotaia ( $U_{2N}$ )	27,5 kV
Tensione di corto-circuito ( $u_{cc}$ )	4,7 %
Tolleranza su $u_{cc}$	7,5 %
Impedenza catenaria-rotaia	3,62 Ohm
Perdite di carico ridotte a 75 °C	21 kW
Perdite a vuoto	13,5 kW
Tempo massimo con sovraccarico del 50%	15 minuti
Tempo massimo con sovraccarico del 100%	5 minuti

#### 4.6 Studio di verifica nel caso di due gallerie

I calcoli utilizzano il programma EMTP (ElectroMagnetic Transient Program) che permette di avere una rappresentazione dettagliata delle reti elettriche. Questo programma è molto valido per lo studio di reti elettriche asimmetriche e specialmente delle reti monofase nel caso di trazione elettrica.

##### 4.6.1 *Situazione normale*

La verifica indica :

- La tensione minima lungo la linea
- L'asimmetria dei transiti tra il filo di contatto e il cavo di alimentazione
- La potenza assorbita nei trasformatori di trazione
- Il  $\cos \varphi$  a livello di alta tensione
- La corrente nei fili di contatto e nel cavo di alimentazione
- Il riscaldamento della catenaria
- La percentuale di squilibrio e il valore di compensazione
- Le correnti di corto circuito (a livello del secondario dei trasformatori principali, ai morsetti degli autotrasformatori della prima cabina AT e all'estremità della linea)

##### 4.6.2 *Situazione di degrado*

La verifica analizza:

- Il fuori servizio di una sottostazione (esiste comunque una sottostazione di riserva)
- Guasto di un trasformatore di trazione in una sottostazione (esiste comunque la possibilità di doppia alimentazione della catenaria)
- L'alimentazione con un solo autotrasformatore per cabina AT

## **5 Calcoli di verifica del dimensionamento – Sintesi e conclusioni**

Il dimensionamento preliminare dell'alimentazione di energia elettrica è stato realizzato a livello di Progetto Preliminare. Poiché in quel momento gli studi sull'esercizio e sulla grafica del TSE non erano ancora stati ultimati, i calcoli si sono basati essenzialmente sui risultati degli studi del traffico e sui dati di base degli studi di Alpetunnel, dopo averne verificata la congruenza.

Gli studi sull'esercizio e sulla rappresentazione grafica realizzati successivamente da TSE hanno permesso di precisare meglio le ipotesi di base di cui bisognava tenere conto. Queste ipotesi sono state state dettagliate nei capitoli precedenti e, in particolare modo, sono da tenere in maggiore considerazione quelle che si riferiscono alle sequenze più sfavorevoli dei treni.

Le ipotesi di base (TSE) sono quelle ad essere utilizzate nei calcoli di verifica del dimensionamento. Questi calcoli consistono in simulazioni realizzate da TSE, che si applicano al sistema di alimentazione di energia elettrica delle nuove gallerie ed opere del progetto definitivo LTF (doppia galleria non per fasi).

Lo studio ha avuto per oggetto due tipi diversi di alimentazione delle gallerie: separata e in parallelo. Lo studio è stato realizzato sia per condizioni normali che per situazioni degradate.

### **5.1 Condizioni normali**

La situazione più vincolante in condizioni normali è quella dello schema precedente "Posizione e potenza dei treni - Griglia normale." Questa situazione corrisponde alla circolazione di 5 treni in direzione Francia - Italia e di 6 treni in direzione opposta. Nello schema suddetto sono riportati i tipi di treni (merci e autostrada ferroviaria), la loro posizione lungo il tracciato e la potenza assorbita. I treni "autostrada ferroviaria" hanno una lunghezza di 1500 metri. La velocità dei convogli è quella di riferimento.

A. Alimentazione separata per ciascuna galleria.

Gli studi sul dimensionamento hanno messo in evidenza che, nella direzione Francia – Italia, sono sufficienti due sottostazioni per garantire una buona affidabilità elettrica, una a Saint Jean de Maurienne, l'altra a Bruzolo, mentre nella direzione Italia – Francia, sono necessarie tre sottostazioni, due nei luoghi suddetti e una terza a Modane.

La tensione al pantografo, - considerate le tolleranze ammesse dalle norme sulla tensione di alimentazione – non scende al di sotto di 22kV , valore autorizzato dalle Specifiche Tecniche per l' Interoperazione. Questa situazione migliora se per le Autostrade Ferroviarie si adottano convogli di 750 metri.

B. Alimentazione in parallelo di entrambe le gallerie.

Sono state considerate le stesse ubicazioni delle sottostazioni ; lo schema di alimentazione adottato è il seguente:

- Saint Jean de Maurienne alimenta la sezione di linea fino a Modane;
- Modane alimenta la sezione di linea Modane - Venaus;
- Bruzolo alimenta la sezione di linea Venaus - Bruzolo.

In questo caso, il fabbisogno di potenza elettrica è di 50.1 MVA a Saint Jean de Maurienne, di 58.4 MVA a Modane e di 28.4 MVA a Bruzolo. La tensione al pantografo non scende mai sotto i valori nominali. Il valore massimo di corrente nella catenaria è di 484 A.

Questi valori ci permettono di affermare che le modalità di alimentazione previste sono affidabili nell'ambito delle condizioni di esercizio che sono state previste. La situazione migliora se per le Autostrade Ferroviarie si adottano convogli da 750 metri.

Occorre precisare, inoltre, che lo schema considerato consente l'alimentazione di tutto l'insieme soltanto con due sottostazioni (in condizioni normali), fatto che aumenta la flessibilità e l'affidabilità elettrica del sistema.

## 5.2 Situazioni di degrado

Le condizioni esaminate si riferiscono ad una serie di treni bloccati in una galleria, e alla necessità di dovere evacuare i treni contemporaneamente ; la situazione dell'altra galleria resta invece normale (si veda lo schema « Posizione e potenza dei treni – Griglia di punta » esaminato in precedenza). La situazione di maggior consumo di potenza corrisponde a 7 treni successivi nel senso Italia-Francia.

La simulazione dimostra che, con l'alimentazione in parallelo delle due gallerie e con Autostrade Ferroviarie da 750 m, *il sistema si trova alla condizione limite accettabile per l'esercizio* : le correnti assorbite dai treni superano i 700 A e provocano il sovraccarico dei trasformatori della sottostazioni; la tensione al pantografo è ridotta nel campo di 19 kV, valore che costituisce il limite inferiore permanente ammesso dalle Specifiche Tecniche per l'Interoperazione ; la corrente nella catenaria è di 1000 A. Il sovraccarico alla sottostazione di Modane è tale da rendere necessaria l'installazione di un altro trasformatore da 60 MVA come riserva immediatamente disponibile.

La situazione diventa critica invece con Autostrade Ferroviarie da 1500 m. In questo caso la tensione al pantografo è ampiamente inferiore a 19kV ; *questo valore non è più accettabile.*

Nelle due situazioni esaminate, rispetto alla situazione ideale priva di alcun vincolo, si dovranno adottare obbligatoriamente certi provvedimenti che riguardano le modalità di evacuazione. Le misure possibili sono :

- Partenza dei treni scaglionata nel tempo;
- Riduzione della velocità di regresso dei convogli;
- Aumento della distanza tra i treni; in quest'ultimo caso basta portare la distanza tra convogli a 3700 metri invece dei 2900 metri attualmente previsti;
- Si può anche pensare di installare sui treni stessi un limitatore di corrente allo scopo di limitare la potenza assorbita nei momenti di punta. Una soluzione di questo tipo è usata nel tunnel della Manica ;



- E' anche possibile rivedere le prescrizioni operative che limitano il numero massimo di treni autorizzati nella galleria<sup>1</sup>.

### 5.3 Conclusioni

E' prevista l'installazione di alimentazione elettrica che comprende 3 sottostazioni da 2x60 MVA, situate a Saint Jean de Maurienne, a Modane e a Bruzolo.

Nelle situazioni di normalità, la simulazione elettrica di alimentazione ha dimostrato che il traffico dei treni nelle due gallerie può essere assicurato con una affidabilità certa, secondo le frequenze e le velocità che risultano dagli studi sull'esercizio e dalla rappresentazione grafica.

In caso di situazioni degradate, il sistema raggiunge il limite con le Autostrade Ferroviarie da 750 m, anche se non vi sono vincoli particolari da prevedere. Con le Autostrade Ferroviarie da 1500 m, i 7 convogli bloccati non possono partire né essere contemporaneamente evacuati alla velocità di 70 km/h rispettando gli intervalli minimi. Sarà necessario dunque adottare le seguenti misure:

- partenza dei treni scaglionata nel tempo;
- riduzione delle velocità di regresso;
- aumento della distanza minima tra i treni;
- riduzione del numero massimo di treni autorizzato nel tunnel ferroviario;
- installazione sui treni di un limitatore di potenza.

Alcuni dei suddetti vincoli sono simili a quelli che risultano dagli studi sulla ventilazione e saranno dunque parzialmente mascherati da questi ultimi.

La scelta delle misure da adottare sarà precisata durante la fase che segue lo studio di TSE.

---

<sup>1</sup> Si potrebbe ridurre di una unità il numero massimo dei treni autorizzati ad essere contemporaneamente presenti nella galleria ferroviaria. Questa misura non inciderebbe sulle prestazioni di esercizio in condizioni normali. In condizioni perturbate essa si limiterebbe ad una riduzione della solidità dell'esercizio.