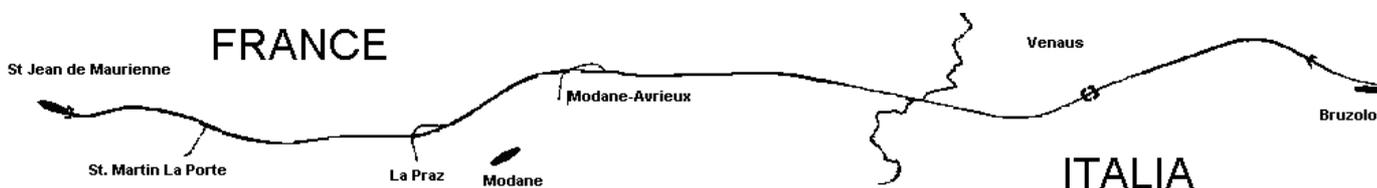


**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE  
NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE TRANSALPINE LYON-TURIN**

**TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA – BRUZOLO**

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



**PROGETTO PRELIMINARE**

**SCHEMA D'ALIMENTAZIONE  
DELLA TRAZIONE ELETTRICA**

Scala :

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE FINALE	B.PERNICENI		JM.VANDECLISSE		M. PRÉ	20/02/03	

Rif. Doc	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>1</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>E</b>	<b>X</b>	<b>:</b>	<b>:</b>	<b>E</b>	<b>:</b>	<b>:</b>	<b>:</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>A</b>
	fase		n° S.C.				emittente			tipo doc.			codice geografico				oggetto				n° doc				indice

# Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
1.1	SISTEMA DI RIFERIMENTO .....	2
1.2	DOCUMENTI ANNESSI .....	2
<b>2</b>	<b>ANALISI DEGLI STUDI PRECEDENTI EFFETTUATI DA ALPETUNNEL .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>IPOTESI DI BASE .....</b>	<b>4</b>
3.1	IL TRACCIATO .....	4
3.2	I CONVOGLI CONSIDERATI .....	6
3.2.1	<i>Le locomotive</i> .....	6
3.2.2	<i>Treni merci</i> .....	6
3.2.3	<i>treni per autostrada ferroviaria</i> .....	7
3.2.4	<i>Treni TGV</i> .....	7
3.3	ORARIO NORMALE .....	8
3.4	ORARIO DI PUNTA .....	8
3.5	SINTESI DELLA SIMULAZIONE ELETTRICA .....	9
<b>4</b>	<b>DEFINIZIONE DEI PRINCIPI FUNZIONALI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>DEFINIZIONE DELL'ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE E DESCRIZIONE DELLE INSTALLAZIONI .....</b>	<b>12</b>
5.1	SISTEMA DI ALIMENTAZIONE 2X25kV .....	12
5.2	I COLLEGAMENTI ALLE RETI DI ALIMENTAZIONE PRIMARIE .....	12
5.3	LA SOTTOSTAZIONE DI TRAZIONE .....	13
5.4	POSTO DI AUTOTRASFORMAZIONE .....	18
5.5	CAVI DI COLLEGAMENTO ALLA CATENARIA .....	19
<b>6</b>	<b>INTERFACCE CON GLI ALTRI SISTEMI .....</b>	<b>20</b>
6.1	L'IMPATTO CON L'AMBIENTE .....	20
6.2	INTERFERENZE CON GLI IMPIANTI DI SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONE .....	20
6.3	I SERVIZI AUSILIARI DI GALLERIA .....	21
6.4	LE RETI NAZIONALI DI ALIMENTAZIONE .....	21
6.4.1	<i>il tasso di squilibrio</i> .....	21
6.4.2	<i>Il tasso di armoniche</i> .....	21
6.4.3	<i>I treni</i> .....	22
6.4.4	<i>La linea di contatto</i> .....	22
6.4.5	<i>Protezione contro le scariche elettriche</i> .....	22
6.4.6	<i>Telecomando e telecontrollo</i> .....	22
<b>7</b>	<b>STIMA DEI COSTI .....</b>	<b>23</b>
7.1	PREMESSA .....	23
7.2	COSTI DEGLI IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE 2X25 kV (SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE E POSTI PER AUTOTRASFORMATORI) .....	23
<b>8</b>	<b>PLANNING DELLE ATTIVITA' DI CANTIERE .....</b>	<b>24</b>

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 *Sistema di riferimento*

Il presente progetto preliminare descrive le soluzioni tecniche per realizzare l'alimentazione dei convogli che percorrono il tunnel di base transalpino tra Francia ed Italia.

Il documento tratta sia il sistema di alimentazione della trazione che la catenaria, suddivisi in appositi capitoli

La tensione di alimentazione prescelta é 25kV monofase ed il sistema di riferimento é 2X25 kV con autotrasformatori.

## 1.2 *Documenti annessi*

- 1 Telecontrollo e Telecomando- Architettura di Base
- 2 Verifica del dimensionamento della rete elettrica di trazione
- 3 Lista delle forniture e stima dei costi
- 4 Planning
- 5 Alimentazione 2x25kV-Schema di riferimento

## 2 ANALISI DEGLI STUDI PRECEDENTI EFFETTUATI DA ALPETUNNEL

Il raggruppamento Alpetunnel ha affrontato in modo ampio e dettagliato il problema della scelta del Sistema di alimentazione del tunnel di base del collegamento Francia Italia al fine di garantire un esercizio ferroviario con ampi margini di affidabilità .

In particolare sono stati effettuati i seguenti studi :

- Alimentation en énergie de traction du futur tunnel transalpin St Jean de Maurienne-Susa (VI.2/6 del repertorio LTF-1998)
- Document de Synthèse sur la cohabitation entre des ouvrages électriques EDF et des infrastructures ferroviaires- Passage dans les tunnels (VI9 del repertorio LTF-1997)

Che sono relativi al sistema di alimentazione della trazione.

Lo studio :

- Etude de pré dimensionnement du tunnel de base ( VI 2 .2 del repertorio LTF- 1997)

E' invece relativo alle alimentazioni degli impianti non ferroviari presenti nel tunnel (ventilazione, controllo dei fumi, etc.)

Gli elementi di riferimento che si traggono dai precedenti studi sono molto importanti , in quanto prefigurano sistemi alternativi di alimentazione e li paragonano in maniera appropriata. Così' si é paragonato il sistema monofase 1X25kV con cavi coassiali con il sistema 2X25kV con Autotrasformatori che é adottato largamente in Italia e Francia per le reti ferroviarie ad alta capacità e velocità.

L'indicazione finale degli studi condotti prevede il sistema 2x25kV con autotrasformatori del tipo a secco installati all'interno delle gallerie. Tale sistema permette il miglior compromesso tecnico economico e garantisce l'alimentazione anche in regime degradato.

Le informazioni sui carichi elettrici degli impianti presenti nel tunnel sono utili per dimensionare i trasformatori per i servizi ausiliari che possono essere installati nella sottostazione di trazione.

### **3 IPOTESI DI BASE**

Si riassumono di seguito i dati assunti a riferimento per lo studio.

#### **3.1 *Il tracciato***

La linea ferroviaria di riferimento parte da Saint-Jean-de-Maurienne in Francia e termina all'uscita di Bruzolo in Italia.

Essa é rappresentata in maniera sintetica nella tabella seguente.

PK-Fr km	PK-It km	Dist.Part km	Déclivité mm/m	Altitude m	
-1,825	117,582			523	<b>PK DEBUT CONCESSION</b> Passage RD 906
-1,000	116,757	0,825	12,00	533	
-0,580	116,337	0,420	12,00	538	
		0,580	4,70		
0,000	115,757			541	Saint Jean de Maurienne
0,270	115,487	0,270	4,70	542	
0,950	114,807	0,680	12,50	553	
		0,917	12,00		
1,867	113,890			564	tête ouest tunnel de base (tunnel d'Ambin)
		0,019	12,00		
1,886	113,871			564	
		0,292	12,00		
2,178	113,579			568	
		0,291	12,00		
2,469	113,288			571	
		25,537	6,50		
28,006	87,751			737	
		4,962	2,00		
32,968	82,789			747	
		21,545	-8,49		
54,513	61,244			564	tête est tunnel de base (tunnel d'Ambin) (PK 61,24438 depuis Torino)
54,584	61,173	0,071	-8,49	563	Traversée du Val Cenisca (Venaus)
		0,088	-8,52		
54,672	61,085			563	
		1,439	-1,20		
56,111	59,646			562	tête ouest tunnel de Bussoleno
		12,457	-11,40		
68,568	47,189			420	tête est tunnel de Bussoleno
71,256	44,501	2,688	-7,79	399	Origine Raccordement vers Turin
		0,273	0,00		Bruzolo (Zone de maintenance+sécurité)
71,528	44,229			399	
		0,429	3,92		
71,957	43,800			400	<b>PK FIN CONCESSION</b>

I dati riportati sono ricavati dalle tavole planoaltimetriche del tracciato proposto da TSE.

## 3.2 I convogli considerati

### 3.2.1 LE LOCOMOTIVE

#### 3.2.1.1 BB36000

<b>TIPO</b>	<b>BB36000</b>
Massa totale	90 t
Lunghezza	20 m
Inerzia	1,07 kg.m <sup>2</sup>
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (cosinus phi)	0,95
Potenza nominale (alle ruote)	6.000 kW
Rendimento	0,9
Sforzo massimo all'avvio	320.000 N
Velocità massima	100 ou 120 km/h secondo il tipo di convoglio
Potenza degli ausiliari	50 kW (fattore di potenza. = 0.95)

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

### 3.2.2 TRENI MERCI

Tra le possibili combinazioni si é individuato il treno merci da 1500 tonnellate rimorchiate con una locomotiva BB36000.

<b>TIPO</b>	<b>Merci</b>
Locomotive	B36000(Potenza elettrica=7,070 MVA)
Lunghezza	750 m
Massa totale	1500 t
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (cosinus phi)	0,95
Potenza nominale (alle ruote)	6.000 kW
Rendimento	0,9
Velocità massima	100 ou 120 km/h secondo il tipo di convoglio
Potenza degli ausiliari	50 kW (fattore di potenza. = 0.95)

### 3.2.3 TRENI PER AUTOSTRADA FERROVIARIA

Il convoglio di riferimento é una navetta in composizione doppia con 4 locomotive BB36000.

Autostrada Ferroviaria (AF)	AF 1500m
Tara CAMION	12t
Tara vagone AF	30t
Carico del CAMION	20t
Tasso di riempimento CAMION	100%
Numero di vagoni AF	68
Massa SONIA per guidatori	50t
Massa totale rimorchiata	4 270t
Massa locomotiva	91t
Numero di locomotive	4
Massa totale del treno	4 634
Lunghezza totale del treno	1 500m
Velocità massima	120 km/h
Potenza elettrica	4x7,070=28,28MVA

### 3.2.4 TRENI TGV

Il convoglio di riferimento é un TGV Réseau in composizione doppia.

Tipo	TGV-R in doppia composizione
Massa totale del treno	2x416 t
Lunghezza del treno	2x200,2 m
Inerzia	1,05 kg.m <sup>2</sup>
Tensione	25 kV
Fattore di potenza (cosinus phi)	0,9
Potenza nominale (alle ruote)	8.800 kW
Rendimento	0,9
Sforzo massimo all'avvio	2x220.000 N
Velocità max. autorizzata	220 km/h
Potenza degli ausiliari	350 kW (fattore di potenza. = 0.7)

$P_{el. \max} : [8.800 \times 10^{-3}/(0,9 \times 0,9)] + [(350 \times 10^{-3})/0,7] = 11,364 \text{ MVA}$ . Tale potenza va moltiplicata per due in doppia composizione.

Le potenze elettriche indicate sono le massime teoriche che possono essere assorbite dai treni ; ovviamente la potenza assorbita é una funzione della velocità e degli sforzi dinamici che caratterizzano l'avanzamento , quindi :

$$P_{el} = (S_i + S_a + S_g) \times V \times M + P_{aux}$$

$P_{el}$  = é la potenza richiesta alla linea di contatto

$P_{aux}$  = é la potenza per gli ausiliari del treno (riscaldamento, aria condizionata etc.)

$S_i$  = é lo Sforzo per vincere l'inerzia del treno

$S_a$  = é lo sforzo per vincere l'inerzia dell'aria

$S_g$  = é lo sforzo per superare le pendenze

$V$  = é la velocità istantanea del treno

$M$  = é la massa totale del treno

### 3.3 *Orario normale*

Si fa riferimento agli studi di esercizio che prevedono l'orario in una giornata "tipo".

Dalla griglia dei treni così definita si é individuata la sequenza dei treni nel tunnel di base che richiede la potenza piu' elevata alla rete di alimentazione. Essa é costituita da sei treni che si seguono con cadenza tipo: due navette di Autostrada Ferroviaria ravvicinate seguite da due treni merci e da una terza navetta seguita da un treno merci.

### 3.4 *Orario di punta*

Si tiene conto che il numero massimo di convogli contemporaneamente presenti é di SETTE<sup>1</sup> per galleria ; in questo modo si riesce a gestire il servizio con sicurezza.

La sequenza di treni nel tunnel che provoca la richiesta maggiore di potenza alle sottostazioni é costituita da **tre** Autostrade Viggianti e da **Quattro** treni merci. Essi si seguono ad intervalli ridotti con la cadenza : due treni AF in doppia composizione seguiti da 4 treni merci e da una ulteriore AF in doppia composizione.

---

<sup>1</sup> Numero massimo di treni autorizzato ad entrare nel tunnel ( si confronti lo studio sul segnalamento ferroviario).

### **3.5 Sintesi della simulazione elettrica**

Il calcolo ha utilizzato il programma EMTP (ElectroMagneticTransientProgram) che permette una rappresentazione dettagliata delle reti elettriche. Esso è in particolare ben adatto allo studio delle reti disimmetriche e in particolare delle reti monofasi per la trazione elettrica.

Lo studio mostra :

- La tensione minima lungo la linea
- La dissimmetria dei transiti tra filo di contatto e cavo feeder
- La potenza richiesta ai trasformatori di trazione
- Il fattore di potenza lato rete Alta Tensione
- Il riscaldamento della catenaria
- Il tasso di squilibrio ed il valore della compensazione
- Le correnti di corto circuito.

Le situazioni di degrado analizzate sono :

- L'alimentazione con un solo autotrasformatore per posto AT
- La situazione che prevede l'orario di punta

Non si considerano i casi di perdita di una sottostazione o di un trasformatore per sottostazione in quanto il sistema prevede una riserva completa.

#### 4 DEFINIZIONE DEI PRINCIPI FUNZIONALI DI RIFERIMENTO

La nuova linea Lione-Torino non è inquadrabile nelle linee ad Alta Velocità, così come definite dalla Direttiva 96/48 del 27/3/96 (GUCE del 17/9/96): infatti essa è prevista per velocità massima dei treni AV di 220 km/h.

Ciò non toglie che la progettazione, costruzione e successiva gestione della linea ferroviaria sia regolamentata dalle Specifiche Tecniche per Interoperabilità, redatte in sede Comunitaria nell'ambito della politica di integrazione ferroviaria di cui alla suddetta Direttiva, i quali definiscono i requisiti tecnici e funzionali che devono possedere le linee interoperabili della rete europea ad Alta Velocità.

In particolare le prescrizioni relative alle Sottostazioni e alla Catenaria sono contenute nell'allegato "Energy-STI" delle suddette specifiche che prevedono (p.4.1.1, ed annexe N p. N.2) alcuni limiti circa i valori minimi e massimi delle tensioni del sistema a 25 kV 50 Hz:

Tensione minima non permanente	Tensione minima permanente	TENSIONE NOMINALE	Tensione massima permanente	Tensione massima non permanente
$U_{min2}$ (V)	$U_{min1}$ (V)	$U_n$ (V)	$U_{max1}$ (V)	$U_{max2}$ (V)
17.500	19.000	25.000	27.500	29.000

Lo stesso documento precisa che:

- i valori di tensione compresi tra  $U_{min1}$  e  $U_{min2}$  non possono durare per più di 2 minuti
- i valori di tensione compresi tra  $U_{max1}$  e  $U_{max2}$  non possono durare per più di 5 minuti
- in condizioni di esercizio normali la tensione al pantografo deve essere compresa tra  $U_{min1}$  e  $U_{max2}$
- in condizioni di esercizio degradate la tensione al pantografo può essere compresa tra  $U_{min1}$  e  $U_{min2}$
- La tensione  $U_{min2}$  è la tensione al pantografo più bassa per cui i treni possono circolare.
- La tensione media al pantografo, determinata secondo i criteri definiti dall'Annexe L delle STI non deve essere inferiore a 22.500 volt.

Si richiede anche che il sistema sia particolarmente **robusto**.

In particolare sarà possibile il riavvio dei treni nel caso di perdita di una sezione elettrica.

Il capitolato funzionale per l’Alimentazione elettrica della catenaria e per la catenaria prevede inoltre :

- Alimentazione dell’opera a partire da due posti di alimentazione, collegati a due reti indipendenti; ciascuno dei due posti deve essere capace di alimentare l’insieme delle opere ;
- Garanzia di alimentazione di ogni sezione di linea di contatto a partire da due sorgenti differenti, almeno.
- Limitazione al massimo delle sezioni di separazione.
- Assenza di punti di sezionamento non rialimentabili.
- Suddivisione in settori di una lunghezza non maggiore di 2000m (per evitare di avere più di un treno in contemporanea in una stessa sezione di catenaria)
- Identificazione delle installazioni per mezzo di una numerazione ben strutturata
- Telecomando di tutte le installazioni situate nel tunnel a partire dal posto di comando ; queste installazioni devono inoltre essere manovrate localmente.
- Inoltre per il sistema monofase nel suo complesso si devono rispettare i limiti di emissione di perturbazioni verso le reti nazionali di alimentazione ad Alta Tensione così come riportati nella normativa europea(EN 50160) ed eventualmente negli accordi specifici tra gestori di rete elettrica ed operatori ferroviari.Le perturbazioni più comuni sono gli squilibri di tensione dovuti al carico monofase ferroviario che possono causare problemi di riscaldamento nelle reti primarie EDF-ENEL
- Infine per quanto riguarda la protezione contro le scariche elettriche si deve realizzare un impianto di messa a terra lungo la linea secondo i criteri esposti nella Normativa EN 50122-1.

**Per quanto riguarda i componenti delle apparecchiature si fa riferimento alle norme IEC relative.**

## **5 DEFINIZIONE DELL'ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE E DESCRIZIONE DELLE INSTALLAZIONI**

### **5.1 Sistema di alimentazione 2x25kV**

Questo sistema é una evoluzione dell'alimentazione monofase 1x25kV e presenta notevoli vantaggi. Esso prevede un trasformatore principale in sottostazione con secondario a 50kV, avente presa centrale collegata al binario e i morsetti estremi collegati alla linea di contatto e a un feeder sostenuto sugli stessi ancoraggi della linea di contatto.

Questa linea che presenta tensioni +/- 25 kV alimenta ad intervalli regolari degli autotrasformatori che costituiscono delle celle di alimentazione a 50kV ; in questo modo la caduta di tensione lungo la linea é nettamente inferiore rispetto a quella del sistema 1x25 kV classico.

Inoltre si ottiene l'ulteriore vantaggio di produrre minori interferenze con le linee di telecomunicazioni adiacenti la linea ferroviaria ;infatti il sistema 2x25kV é percorso da correnti di ritorno solo nel tratto compreso tra due autotrasformatori.

Lo schema di riferimento é in annesso 5 ( APS 2085 TSE1 SC GA S 1223)

### **5.2 I collegamenti alle reti di alimentazione primarie**

Nel fissare la soluzione piú idonea per l'alimentazione primaria, si é tenuto conto della disponibilitá degli esercenti delle reti primarie EDF ed ENEL e comunque si sono tenuti ben presenti i seguenti criteri:

- risolvere il problema degli squilibri introdotti dal prelievo monofase dalla rete di alimentazione trifase;
- ottenere la massima affidabilitá, riducendo al massimo il rischio di mancanza dell'alimentazione ad una delle sottostazioni.

La soluzione adottata per il tunnel prevede l'installazione di tre sottostazioni, poste a ST Jean de Maurienne, Modane e Bruzolo

- a Bruzolo nell'ambito dei piani di ampliamento di ENEL verrà installato un autotrasformatore 380/132 kV, 250 MVA esclusivamente dedicato all'alimentazione del carico ferroviario monofase;
- Modane verrà allacciata a 225kV alla rete EDF in Villarodin
- St Jean de Maurienne verrà allacciata a 225kV alla rete EDF vicina( Longefan);

Opportuni compensatori di disequilibrio del carico ferroviario sono da prevedere a Longefan e in misura minore lato ENEL.

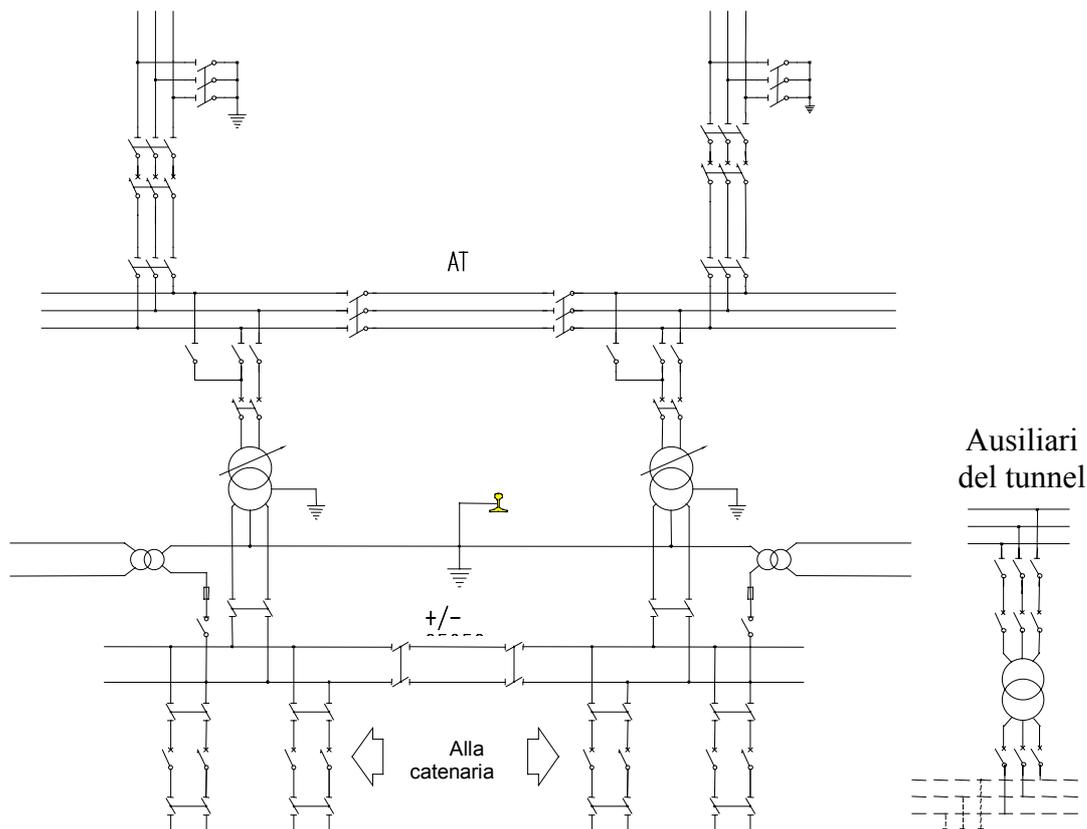
Il sistema permette comunque :

- di poter alimentare un gruppo con la primaria da sinistra e l'altro con quello da destra;
- di poter realizzare lo schema cosiddetto a V con un gruppo alimentato da una coppia di fasi, l'altro da una diversa coppia di fasi.

Uno schema generale della rete di alimentazione é riportato in APS 2085 TSE 1 GA S 12.23 ove si puo' notare come i posti per gli auto trasformatori sono previsti ogni 6,4 chilometri in corrispondenza dei condotti tecnici posti tra le due gallerie.

Nel prossimo capitolo si descrivono piu' in dettaglio le apparecchiature.

### 5.3 La sottostazione di trazione



Le sottostazioni presentano un layout uguale, ma le apparecchiature di alta tensione sono differenti in quanto come visto le tensioni di alimentazione sono 225kv lato Francia e 132 kV lato Italia.

Per semplicità ci si riferisce al caso della rete italiana.

## Zona di arrivo linee

Ciascuno ingresso di linea è fornito di:

- sezionatore di terra ;
- sezionatore motorizzato :

tensione nominale	$V_n$ (kV)	132
corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.25
corrente di breve durata	valore effic. 1s (kA)	31.5
	valore di cresta (kA)	79

- interruttore tripolare a comando idraulico, isolato in SF<sub>6</sub> :

tensione nominale	$V_n$ (kV)	132
corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.25
potere di interruzione simmetrico	$I_{CC}$ (kA)	31.5
potere di chiusura-valore di cresta		79

- sezionatore manuale, dalle stesse caratteristiche di quello motorizzato;
- TA e TV per le eventuali misure e protezione:

le caratteristiche per il TV sono le seguenti:

rapp. di trasformazione	K (kV)	132
potenza	al I secondario (VA)	50
	al II secondario (VA)	50
cl. di precisione	al I secondario	3P

mentre per il TA sempre a doppio secondario sono:

rapp. di trasformazione	K (A)	1200
potenza	al I secondario (VA)	30
	al II secondario (VA)	95
cl. di precisione	al I secondario	1
	al II secondario	5P20

### Zona sbarra A.T.

La sbarra A.T. è sezionabile al centro da due sezionatori motorizzati ; essi permettono di mantenere in servizio uno dei due gruppi in caso di guasto alla sbarra o ad un'apparecchiatura rigidamente collegata ad essa.

### Zona gruppi di trasformazione

Per ogni SSE vi sono due gruppi di trasformazione. Ciascuno di essi è alimentabile dalla sbarra trifase HT mediante un doppio sezionatore che consente di collegare ciascun terminale del trasformatore ad una qualsiasi delle tre fasi.

tensione nominale del sezionatore	$V_n$ (kV)	132
corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.25
correnti di breve durata	$I_{CC}$ (kA)	31.5

Questo schema, dà la possibilità di ottenere l'inserzione a V con diverse coppie di fasi e, nel caso sia in servizio un solo gruppo , consente di inserirlo su una qualsiasi possibile coppia di fasi.

A valle sono presenti:

- l'interruttore bipolare di protezione del trasformatore

tensione nominale	$V_n$ (kV)	170
corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.25
potere di interruzione simmetrico	$I_{CC}$ (kA)	31.5

- gli scaricatori di tensione per proteggere il trasformatore da eventuali sovratensioni;

- il trasformatore in olio a presa centrale :

potenza nominale	$A_n$ (MVA)	60
rapp. di trasformazione	K (kV)	132/2x27.5
tensione di corto circuito	$V_{cc}$	10%

con possibilità di sovraccarico del 50% per 15 minuti e del 100% per 5 minuti;

- TA e TV per le eventuali misure e protezioni; in particolare :

Il trasformatore da 60 MVA è dotato di regolazione di tensione al lato primario, per compensare le cadute di tensione lato AT. Tale regolazione è attuabile con un variatore di rapporto di trasformazione sotto carico.

Il secondario del trasformatore è a tre prese: quella centrale è collegata ai binari di corsa attraverso casse induttive di sbarramento.

Le tensioni di corto circuito del trasformatore sono state scelte in modo da limitare la corrente di corto circuito a valori nell'ordine di 15 kA.

#### Zona sbarra secondaria M.T.

La sbarra secondaria, composta da due conduttori, uno a “+25 kV” (linea di contatto), l'altro a “-25 kV” (feeder), è dotata di:

- sezionatore telecomandato,
- sezionatore manuale,

entrambi da :

			Per LTF
Tensione nominale	$V_n$ (kV)	25	25
Corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.6	2.0
Corrente di breve durata	val. eff. (1s) (kA)	15	17
	val. di cresta (kA)	37.5	40

I due sezionatori sono disposti in serie e il sezionatore a comando manuale è utilizzato per la sola manutenzione locale.

La sbarra è sezionata quando la sottostazione ha l'assetto con collegamento a V, mentre è in continuità quando un solo trasformatore deve alimentare la linea di contatto .

#### Zona servizi ausiliari M.T.

A partire da ciascuna estremità del conduttore di sbarra secondaria MT si trovano

- un trasformatore monofase :

potenza nominale	$A_n$ (kVA)	50
rapp. di trasformazione	K (kV)	25/0.24
tensione di corto circuito	$V_{cc}$	4%

- un fusibile;
- un sezionatore a comando manuale:

tensione nominale	$V_n$ (kV)	25
corrente nominale	$I_n$ (kA)	.8
corrente di breve durata	val. effic. (1s) (kA)	15
	val. di cresta (kA)	7.5

Fusibile e sezionatore sono a protezione di ciascun trasformatore.

I servizi ausiliari sono alimentati da uno dei due trasformatori. Sono previsti due cariche batterie in modo da assicurare ridondanza su tali apparecchiature.

#### Zona alimentatori M.T.

In ciascuna SSE, sono presenti quattro montanti alimentatori. Ogni singolo alimentatore è composto da

- un interruttore bipolare

tensione nominale	$V_n$ (kV)	25
corrente nominale	$I_n$ (kA)	1.6
potere di interruzione simmetrico	$I_{CC}$ (kA)	15

- un sezionatore motorizzato con le stesse caratteristiche dell'interruttore;
- un sezionatore manuale con le stesse caratteristiche di quello motorizzato.

L'interruttore svolge tutte le funzioni di protezione delle linee. Il sezionatore motorizzato è l'organo attraverso il quale si disconnette metallicamente la linea di contatto dalla sottostazione. Il sezionatore manuale è normalmente chiuso ed è utilizzato per la sola manutenzione locale.

- TV e TA per le eventuali misure e protezioni

#### Zona sbarra di parallelo pari-dispari

A valle del sezionatore motorizzato del montante alimentatore è prevista una sbarra di parallelo pari-dispari tra gli alimentatori Nord ed una analoga tra gli alimentatori Sud. Tale sbarra è dotata di un sezionatore motorizzato, normalmente in posizione di "aperto". La funzione di questa sbarra è quella di consentire l'alimentazione di ambedue gli scarti in caso di guasto o fuori servizio di un montante alimentatore.

### Trasformatori per i servizi ausiliari di galleria( ventilazione, illuminazione,etc)

In accordo alle esigenze espresse per alimentare i servizi ausiliari del tunnel si é previsto di installare nella zona delle sottostazioni di trazione anche i trasformatori e le apparecchiature necessarie.

A St Jean de Maurienne e Venaus si avrà un trasformatore da 25Mva, mentre a Modane si installeranno due trasformatori da 50 Mva. In questo modo si garantisce una riserva completa di alimentazione in caso di guasto.

La sbarra primaria sarà connessa alla rete EDF di distribuzione( 63kV per EDF) e la sbarra secondaria sarà a 20kV.

A Venaus il trasformatore sarà alimentato via cavo a 132 kV da Enel Venaus. Si evita così di avere squilibri sulla sbarra alta tensione del trasformatore.

## **5.4 Posto di autotrasformazione**

Il sistema 2x25kV come visto richiede l'utilizzo di autotrasformatori lungo la linea per permettere la suddivisione in celle di alimentazione.

Nel nostro caso gli autotrasformatori , con potenza nominale di 10 MVA e le relative apparecchiature saranno posti ogni 6,4 km di linea ; infatti con circa 3 MVA al km di assorbimento, la potenza richiesta é quella indicata.

Gli autotrasformatori saranno raffreddati a secco per le esigenze di contenimento dell'incendio in galleria ; attualmente non esiste una produzione di serie. Tuttavia l'esperienza di due prototipi dopo un anno di esercizio sulla rete TGV francese é positiva e ci porta ragionevolmente a raccomandare questo tipi di trasformatori per il tunnel di base. Gli auto trasformatori così permettono l'adozione del sistema monofase 2x25kV.

Le caratteristiche degli auto trasformatori sono :

Potenza nominale ( $P_N$ )	10 MVA
Tensione primaria nominale catenaria- feeder ( $U_{1N}$ )	55 kV
Tensione secondaria nominale feeder-rotaia ( $U_{2N}$ )	27,5 kV
Tensione di corto-circuito ( $u_{cc}$ )	4,7 %
Tempo max. con sovraccarico del 50%	15 minuti
Tempo max. con sovraccarico del 100%	5 minuti

Le altre apparecchiature da prevedere nel posto sono :

- Un sezionatore manuale
- Un interruttore per la linea di contatto
- Un TV( trasformatore di tensione)

## **5.5 Cavi di collegamento alla catenaria**

Il collegamento tra l'uscita in Media Tensione 25kV e la linea di contatto viene fatto in aria per le sottostazioni di St Jean de Maurienne e Bruzolo.

Per la sottostazione di Modane invece occorre posizionare un numero sufficiente di cavi lungo la « discenderia » per collegare la catenaria posta nel tunnel.

Tenedo conto delle potenze messe in gioco e del numero di trasformatori installati si prevede di utilizzare cinque cavi da 12MVA ciascuno per ogni partenza verso la linea di contatto( in totale 20 cavi per la sottostazione) .

## **6 INTERFACCE CON GLI ALTRI SISTEMI**

L'impianto di trazione elettrica presenta diverse interfacce con la struttura ferroviaria e tra di esse si possono ricordare:

- L'impatto sull'ambiente
- Le interferenze con gli impianti di segnalamento e di telecomunicazione
- I servizi ausiliari di galleria
- Le reti nazionali di alimentazione
- I treni
- La linea di contatto
- La protezione contro le scariche elettriche

### **6.1 *L'impatto con l'ambiente***

Le sottostazioni elettriche che alimentano la ferrovia presentano in generale un impatto « diretto » non trascurabile sull'ambiente. Si tratta infatti di occupare delle zone che possono arrivare a circa 10000 metri quadri per ogni sottostazione. Esiste poi un impatto « indiretto » che é imputabile alla alimentazione ferroviaria ; occorre infatti potenziare gli impianti di fornitura ad alta tensione. Si prevede infatti l'allargamento e la costruzione di nuove strutture elettriche dedicate alla ferrovia nei siti EDF ed ENEL interessati. Non si prevede l'installazione di elettrodi nuovi ad alta tensione.

Occorre considerare che é comunque possibile contenere l'impatto « diretto » delle sottostazioni elettriche adottando delle apparecchiature ad isolamento con gas (apparecchi « blindati ») che presentano un impatto molto ridotto ( la sottostazione occupa circa 2500metri quadri).

In Italia sulla linea nuova tra Bologna e Firenze che presenta un tracciato in galleria paragonabile al tunnel di base si stanno realizzando due sottostazioni con apparecchiature isolate in gas. E' ragionevole prevedere che quando si passerà alla fase costruttiva del tunnel di base, l'esperienza sull'esercizio in ambiente ferroviario degli impianti "Blindati" sarà acquisita.

Una nota a parte riguarda il collegamento tra la stazione ENEL di Venaus ed il trasformatore che alimenta i servizi ausiliari del tunnel. Tale collegamento sarà infatti in cavo e quindi con impatto ambientale trascurabile.

### **6.2 *Interferenze con gli impianti di segnalamento e telecomunicazione***

L'utilizzo della corrente alternata monofase a 50 hz puo' causare delle perturbazioni elettromagnetiche alle reti di telecomunicazione, di segnalamento e di comando e controllo dei treni. Questo non solo all'interno del tunnel di base, ma soprattutto nelle zone di comunicazione con gli impianti ferroviari esistenti all'imbocco del tunnel. Infatti in tale caso l'interferenza puo' coinvolgere oltre agli impianti ferroviari menzionati anche le reti di

telecomunicazione pubbliche o private e le reti di servizi (gas,acqua etc.) che presentano un parallelismo con la linea ferroviaria.

Uno studio di compatibilità elettromagnetica permetterà nella fase di progetto dettagliato di quantificare il livello delle perturbazioni indotte dalla alimentazione a 2x25 kV monofase e se necessario permetterà di suggerire le soluzioni che rendano possibile l'esercizio.

### **6.3 I servizi ausiliari di galleria**

L'interfaccia con i servizi ausiliari di galleria é relativa all'installazione, nell'area di sottostazione, del trasformatore principale e delle apparecchiature di collegamento per alimentare i servizi di galleria e dei tratti all'aperto di linea . La soluzione indicata risponde al principio di concentrare le apparecchiature, ma non é unica. Infatti a Venaus il trasformatore in oggetto é posizionato in un'area che non é quella di sottostazione ed é alimentato direttamente via cavo da ENEL in Venaus. Questa scelta permette di separare le sbarre di alimentazione in alta tensione dai trasformatori monofasi di trazione che possono squilibrare le tensioni di alimentazione dei circuiti ausiliari.

### **6.4 Le reti nazionali di alimentazione**

L'inserimento di un carico importante di tipo monofase nella rete di alimentazione nazionale presenta una serie di problematiche che devono essere analizzate con i fornitori di energia (EDF ed ENEL). Normalmente infatti questi ultimi garantiscono la fornitura se i clienti si impegnano a non perturbare la rete di alimentazione primaria.

#### **6.4.1 IL TASSO DI SQUILIBRIO**

Il rischio principale é collegato al tasso di squilibrio introdotto dal carico monofase; questo infatti fa circolare nella rete primaria delle correnti che si possono scomporre in componenti dirette ed inverse. Queste ultime a loro volta generano delle tensioni inverse che possono creare dei problemi al gestore.

Praticamente il rapporto tra le tensioni puo' essere espresso come rapporto tra due potenze:

Tasso di squilibrio=  $S_m/S_{cc}$ ,

Ove  $S_m$  é la potenza apparente nominale del carico monofase e  $S_{cc}$  é la potenza apparente di corto circuito della rete primaria nel punto di raccordo.

I limiti di squilibrio sono precisati nella norma EN 50160 a livello europeo e da accordi nazionali.

Essi sono pari a :

$\leq 1 \%$  per 10 minuti nel caso di rete alimentata normalmente

$\leq 1,5 \%$  per 10 minuti nel caso di rete in degrado .

La potenza di corto circuito ottimale per il nostro caso con trasformatori da 60 MVA é dunque pari a 6000MVA.

#### **6.4.2 IL TASSO DI ARMONICHE**

I carichi ferroviari possono introdurre un certo tasso di armoniche che si ripercuotono nel punto di collegamento alla rete primaria. Il livello da rispettare in Francia é di 1% di distorsione per le armoniche dispari e 0,6% per le armoniche pari; 1,6% in totale. In Italia si tiene conto della tensione di rete ed i valori sono 1,5% a 380kV e 3% a 150kV.

In futuro si potranno avere dei valori suddivisi per rango di armoniche.

#### 6.4.3 I TRENI

Le caratteristiche dei treni che percorrono la linea costituiscono i carichi elettrici da alimentare. Essi devono tener conto del sistema di alimentazione e per limitare l'utilizzo della potenza viene installato un interruttore di massima corrente. Nel caso in esame il limite massimo di tale corrente é pari a 1500 Ampere (secondo la STI Energia-Annesso O); tale valore é compatibile con le caratteristiche della navetta per l'Autostrada Ferroviaria in doppia composizione.

#### 6.4.4 LA LINEA DI CONTATTO

L'alimentazione elettrica che proviene dalle sottostazioni viene distribuita ai treni attraverso la catenaria che costituisce il mezzo fisico di contatto. Per le sue caratteristiche si rimanda al capitolo specifico.

#### 6.4.5 PROTEZIONE CONTRO LE SCARICHE ELETTRICHE

Il sistema di alimentazione tiene conto di questa interfaccia essenziale e a tal fine é prevista una protezione specifica lungo tutta la linea che realizza quanto richiesto dalla specifica EN50122-1.

#### 6.4.6 TELECOMANDO E TELECONTROLLO

Le apparecchiature di sottostazione e quelle nei posti di autotrasformazione sono comandate in telecomando dal Posto di Controllo Centrale (PCC). Il dettaglio del sistema di telecomando e controllo é descritto nella relazione ad esso dedicata ( si veda l'annesso 1 Architettura di base).

## 7 STIMA DEI COSTI

### 7.1 Premessa

Ci riferiamo alle apparecchiature di Alimentazione in alta tensione (sottostazioni di trasformazione e posti per autotrasformatori) rimandando al capitolo sulla catenaria le stime relative.

Le sottostazioni di alimentazione della linea ferroviaria sono da considerare come costi non proporzionali alla lunghezza, mentre la catenaria presenta dei costi tipicamente legati alla lunghezza.

Resta invece aperta l'attribuzione dei posti per gli autotrasformatori che si trovano lungo la linea e sono essenziali per realizzare il sistema monofase 2x25 kV. I costi relativi possono essere calcolati infatti come materiale dell'alimentazione in alta tensione o come componente della catenaria; dipenderà dalla richiesta di offerta in fase di gara per l'appalto.

Per semplicità di esposizione dei costi essi sono richiamati nel presente capitolo.

Il costo delle apparecchiature per realizzare il collegamento alle reti dei fornitori di energia (EDF ed ENEL) è stato stimato sulla base degli accordi preliminari con tali enti.

La stima andrà rivista in fase di definizione degli accordi di fornitura .

Analogo discorso vale per le apparecchiature di compensazione statica dei disequilibri che andranno ben valutati in funzione della potenza dei nodi di interconnessione alla rete nazionale.

Infine non si espone nei costi l'impianto di telecomando delle sottostazioni che è riportato in un capitolo apposito.

Per quanto riguarda il dettaglio delle apparecchiature da fornire ed i costi della manutenzione, si rimanda alle tabelle dettagliate ove si prevede anche una suddivisione dei costi nelle differenti fasi di realizzazione dell'impianto ( si veda in annesso 3).

### **7.2 Costi degli impianti di Alimentazione 2x25 kV (Sottostazioni elettriche e posti per autotrasformatori)**

Si riassumono nel seguito gli elementi di base che sono stati esposti nelle tabelle di costo C13 CY NPH ove si prevede una articolazione temporale delle spese lungo tutta la vita dell'impianto.

Raccordo in alta tensione (400/225 o 132 kV)	15 MEuro
Sottostazione 2x60MVA con 1 Trasformatore per servizi Ausiliari nel tunnel	5 M Euro
Compensatore di squilibrio	43 M Euro
Posto per Autotrasformatore	0,2 M Euro
Cavi di collegamento alla catenaria (in discenderia a Modane)	11 M Euro

## **8 PLANNING DELLE ATTIVITA' DI CANTIERE**

Il planning previsto per l'installazione delle sottostazioni e della catenaria é esposto con maggiori dettagli nel documento "Planning et Delais" e nel diagramma temporale relativo.

In tali documenti si descrive la metodologia adottata (si veda in annesso 4).

Nella stesura delle attività si é tenuto conto della disponibilità delle opere civili e dell'armamento ferroviario per trasportare le apparecchiature in sede e si é indicata una suddivisione dei cantieri tale da contenere i tempi di esecuzione.