



Nuova linea Torino-Lione Impianti elettrici

The new Turin-Lyon railway line The electric plants

Dott. Ingg. Paolo POTI^(*), Lorenzo BRINO^(**)

L'articolo analizza il sistema di alimentazione della Trazione Elettrica per la tratta internazionale della nuova linea Torino Lione.

Tale progetto, oltre a prevedere una delle più lunghe gallerie ferroviarie mai progettate, riassume la più recente tecnologia della trazione elettrica attualmente disponibile.

1. Il progetto della nuova linea Torino Lione

Con riferimento alla fig. 1, la nuova linea Torino Lione, è costituita da tre parti, di seguito descritte.

Parte francese

Questa parte, il cui committente è il gestore della rete ferroviaria francese (RFF), si estende da Est di Lione a Saint Jean de Maurienne (escluso). Comporta, nella sua configurazione attuale (tuttora in corso di definizione da RFF e dall'amministrazione francese):

- un itinerario viaggiatori ad alta velocità: tra l'Est di Lione ed il Sillon Alpin (ad Est di Chambéry);
- un itinerario merci e Autostrada Ferroviaria: tra l'Est di Lione ed il Sillon Alpin;
- un itinerario misto tra il Sillon Alpin e Saint-Jean-de-Maurienne.

This article analyses the Electric Traction supply system for the international section of the New Turin-Lyon Railway Line.

This project, apart from dealing with one of the longest railway tunnels ever designed, summarises the most recent technology of electrical traction currently available.

1. The Design of the New Turin-Lyon Line

With reference to figure 1, the New Turin-Lyon Line consists of three parts, which are here described.

The French section

This section, whose customer is the manager of the French railway network (RFF), extends from the East of Lyons to Saint Jean de Maurienne (excluded). It involves, in its present form (which is still being defined by RFF and the French Administration):

- a high velocity passenger route: between the East of Lyons and Sillon Alpin (to the East of Chambéry);
- a goods route and Railway Motorway: between the East of Lyons and Sillon Alpin;
- a mixed route between Sillon Alpin and Saint Jean de Maurienne.

^(*) Resp. Studi impiantistici - LTF S.a.s.

^(**) Dir. Aggiunto Studi e Progetto - LTF S.a.s.

^(*) Responsible for plant engineering – LFT S.a.s.

^(**) Assistant Director of the Studies and Project – LFT S.a.s.

OSSERVATORIO

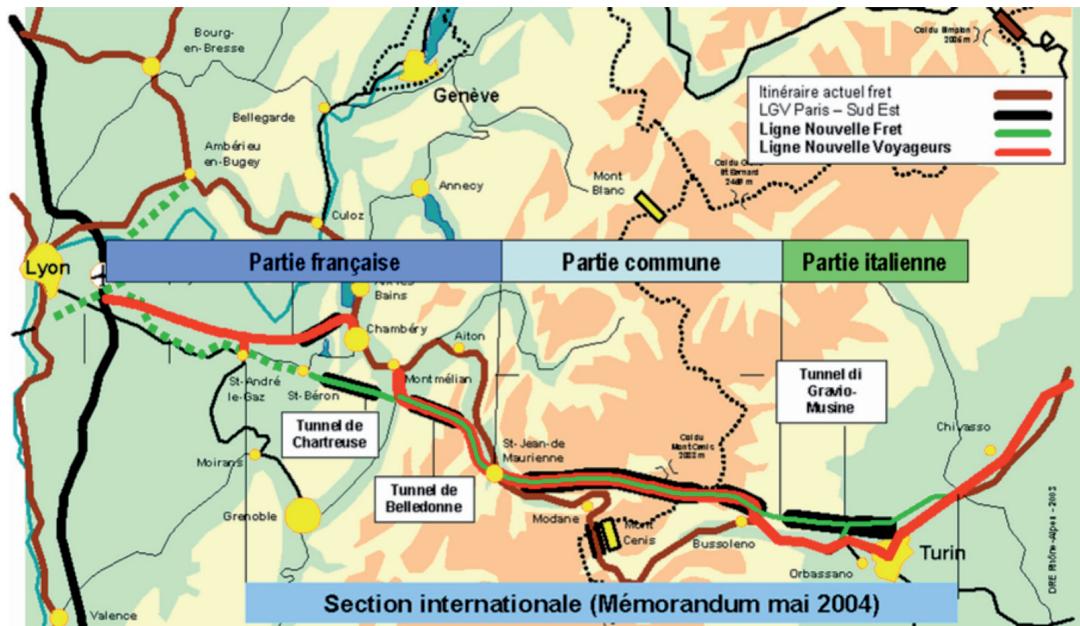


Fig. 1 – Torino-Lione – Sezione internazionale. *The International section of the Turin-Lyons line.*

Parte comune italo-francese (tratta internazionale)

La parte comune, il cui committente è Lyon Turin Ferroviaire (LTF), si estende da Saint Jean de Maurienne (incluso) ai dintorni di Bussolengo, e comprende il tunnel di base transfrontaliero seguito a breve da un altro tunnel di 11 km completamente in territorio italiano, all'uscita del quale è prevista l'interconnessione con la Linea Storica, LS.

Parte italiana

Questa parte, il cui committente è il gestore della rete ferroviaria italiana (RFI), si estende fino a Settimo Torinese, interconnettendosi alla linea ad AC Torino Milano, attualmente in esercizio fino a Novara.

La "parte comune della sezione internazionale" si sviluppa in galleria a doppia canna singolo binario per il 90% della sua lunghezza su due gallerie: la galleria di base (tra St. Jean de Maurienne e l'Italia, di 53 km circa, fig. 2) e la galleria seguente interamente in territorio italiano (di 11 km circa). Il tracciato è allo scoperto solo in corrispondenza di 3 zone: le 2 zone terminali in territorio francese ed italiano (in cui sono previste delle interconnessioni con la linea storica) e nella tratta tra le due gallerie.

A metà del tracciato del tunnel di base è prevista una stazione di sicurezza e di soccorso per l'evacuazione dei passeggeri ("Modane bis"). Inoltre sono previsti ad inter-

The shared Italian-French section (International stretch)

The shared part, whose customer is the Lyons-Turin Railway (LTF), stretches from, and includes, Saint Jean de Maurienne to around Bussolengo and it involves a base border-crossing tunnel, followed shortly after by another 11 km long tunnel, which is completely in Italian territory. An interconnection is foreseen from the exit of this tunnel to the Historical Line (LS).

The Italian section

This section, whose customer is the administrator of the Italian railway network (RFI), goes as far as Settimo Torinese, where it then joins up with the AC Turin-Milan line, which is at present in use as far as Novara.

The "shared section of the international stretch" is developed in a single track, double tube tunnel for 90% of its length along two tunnels: the Base tunnel (between St. Jean de Maurienne and Italy, of about 53 km, see figure 2) and a subsequent tunnel, which is entirely in Italian territory (of about 11km). The alignment is only on the surface in 3 areas: the 2 terminal zones on the French and Italian territories (where connections with the historical lines are foreseen) and the stretch between the two tunnels.

OSSERVATORIO

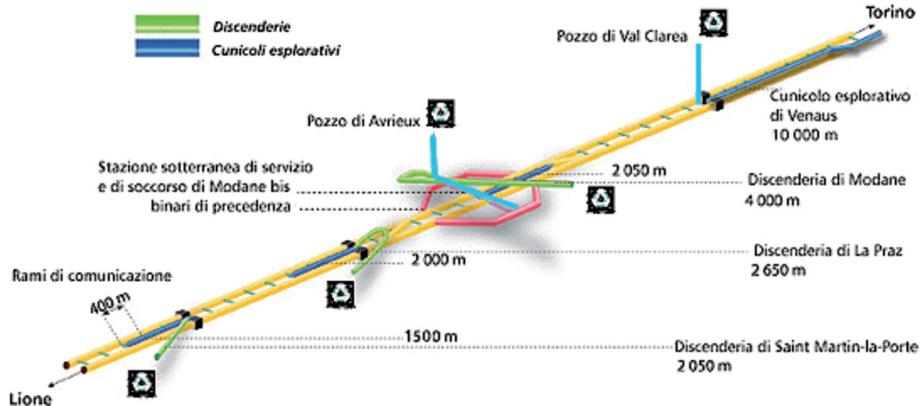


Fig. 2 - Schema del tunnel di base e delle principali opere connesse. *Schema of the base tunnel and the main connected works.*

valli regolari 4 "siti d'intervento" per il trattamento dei treni Merci o di Autostrada Ferroviaria (AF) con incendio a bordo: Saint-Martin la Porte, La Praz, Modane bis (ac-coppiato alla stazione di soccorso) e Clarea. Ciascuno di questi siti in sotterraneo è raggiungibile dall'esterno a mezzo discenderia o galleria di servizio. Sono inoltre previste delle stazioni di sicurezza nelle 3 zone allo scoperto.

Le due zone terminali all'aria aperta (una in Francia e l'altra in Italia) ospitano anche diversi impianti per l'esercizio e la manutenzione.

Le categorie dei treni ammessi sono le seguenti:

- *treni viaggiatori (AV)*: la lunghezza di tali treni varia tra 250 e 400 m e la velocità massima di circolazione è pari a 220 km/h. Il materiale rotabile che circolerà sulla Nuova Linea sarà conforme alle STI;
- *treni di Autostrada Ferroviaria (AF)*: la lunghezza di tali treni è di 750 m. La massa rimorchiata varia tra 1600 e 2050 t. La velocità massima è di 120 km/h. Il carico per asse è di 25 t;
- *treni Merci (M)*: la lunghezza massima di questi treni è di 750 m. La massa rimorchiata varia tra 1150 e 1600 t e la velocità massima varia tra 100 e 120 km/h. Il carico per asse è di 25 t.

Il progetto tecnico valuta inoltre le condizioni di circolazione con carico per asse di 30 t.

Di seguito si riportano le tabelle 1 e 2 riassuntive del traffico di progetto giornaliero, per il medio termine (sino ai 20 anni dall'attivazione) e lungo termine (oltre i 20 anni), utilizzate ai fini del dimensionamento della Trazione Elettrica.

Il progetto è destinato ad un traffico di tipo "misto" (Viaggiatori, Merci ed Autostrada Ferroviaria – "AF"). La

A safety and rescue station is foreseen, at the mid point of the alignment, for the evacuation of passengers ("Modane bis"). Furthermore, 4 "intervention sites" are foreseen for the treatment of any Goods or Railway Motorway (AF) trains with fires on board: Saint-Martin la Porte, La Praz, Modane bis (coupled to the rescue station) and Clarea. Each of these underground sites can be reached from the outside through inclines or service tunnels. Safety stations are also foreseen in the 3 zones on the surface.

The two terminal zones on the surface (one in France and the other in Italy) will also house different operational and maintenance plants.

The following categories of trains are admitted:

- *Passenger trains (AV)*: the length of these trains varies between 250 and 400 m and the maximum circulation velocity is equal to 220 km/h. The rolling stock material that will circulate on the New Line will conform to STI;
- *Railway Motorway trains (AF)*: the length of these trains is 750 m. The towed mass varies between 1600 and 2050 tons. The maximum velocity is 120 km/h. The load per axis is 25 tons;
- *Goods trains (M)*: the maximum length of these trains is 750 m. The towed mass varies between 1150 and 1600 t and the maximum velocity varies between 100 and 120 km/h. The load per axis is 25 tons.

The technical project also estimates circulation conditions with a load per axis of 30 tons.

The summarising tables of the daily design traffic, for the mean term (up to 20 years from the start) and long term (beyond 20 years), which were used to dimension the Electrical traction, are here reported.

The project is intended for a "mixed" type of traffic (Passenger, Goods and Railway Motorway – "AF").

The profile of the works has been conceived to allow AF trains to pass. These trains can arrive at heights of up

OSSEVATORIO

TABELLA 1
TABLE 1

TRAFFICO DI PROGETTO A MEDIO TERMINE: RIPARTIZIONE SUL CORRIDOIO (SOMMA PER I DUE SENSI). MEAN TERM DESIGN TRAFFIC: DISTRIBUTION ALONG THE CORRIDOR (THE SUM OF THE TWO DIRECTIONS)

	Nuova linea <i>New line</i>	Linea storica <i>Historical line</i>
AV	24 a 32	St-Jean de Maurienne -Modane: 40 Modane – Bardonecchia: 22 Bardonecchia -Bussoleno: 28 Bussoleno -Avigliana: 48 Avigliana – Torino: 120
AF	108 (AF)	8 (AFM)
M		Senso 1 (Francia > Italia): 112 Senso 2 (Italia > Francia): 73

sagoma delle opere è concepita per accogliere i treni AF che raggiungono i 5,20 m al di sopra del piano del ferro (in quanto portano Veicoli Pesanti alti 4,20 m).

2. La struttura globale dei sistemi di alimentazione ferroviaria (TE) e non ferroviaria (impianti ausiliari)

La scelta di fondo è stata quella di separare le alimentazioni degli impianti ausiliari (non ferroviari) dagli impianti di trazione elettrica per problemi di compatibilità tecnica tra gli utilizzatori di ciascun sottosistema.

Difatti, laddove gli impianti ausiliari presentano rilevanti assorbimenti trifase (ad esempio per la presenza di un impianto di ventilazione vitale per l'esercizio in sicurezza dell'infrastruttura) derivare dalla stessa sbarra, l'alimentazione della TE e degli ausiliari avrebbe comportato inevitabilmente dei mal funzionamenti dovuti alle componenti di sequenza inversa che un prelievo monofase genera sul sistema trifase da cui è derivato.

E' noto infatti che un prelievo monofase da un sistema trifase equivale a inserire nel sistema di alimentazione un sistema sovrapposto di "sequenza inversa" che produce effetti opposti a quelli del sistema principale.

In modo molto semplice, l'effetto finale su tutte le macchine rotanti equivale a "frenarle".

Pertanto nelle linee AV/AC che presentano gallerie eccezionali in lunghezza, gli impianti non ferroviari con funzioni vitali (come ad esempio gli impianti di ventilazione o le pompe del sistema antincendio) presentano numerosissime macchine rotanti trifase.

Il risultato è evidente: le macchine rotanti sarebbero chiamate a funzionare ruotando in un verso (quello corretto) con un secondo sistema che le frena. Le macchine sarebbero sottoposte a continui e sistematici riscaldamenti che ne ridurrebbero la vita utile portandole al col-

TABELLA 2
TABLE 2

TRAFFICO DI PROGETTO A LUNGO TERMINE: RIPARTIZIONE SUL CORRIDOIO (SOMMA PER I DUE SENSI). LONG TERM DESIGN TRAFFIC: DISTRIBUTION ALONG THE CORRIDOR (THE SUM OF THE TWO DIRECTIONS)

	Nuova Linea <i>New line</i>	Linea storica <i>Historical line</i>
AV	36	St-Jean de Maurienne -Modane : 40 Modane – Bardonecchia : 22 Bardonecchia -Bussoleno : 28 Bussoleno -Avigliana : 48 Avigliana – Torino : 120
AF	108 (AF)	8 (AFM)
M		Senso 1 (Francia > Italia): 151 Senso 2 (Italia > Francia): 107

to 5.20 m above the tracks (as they can carry Heavy Duty Vehicles of up to 4.20 m in height).

2. The global structure of the railway electric supply (TE) and non railway electric supply (auxiliary plants) systems

The basic choice was to separate the supply of the auxiliary plants (non railway) from the electric traction plants because of technical compatibility problems between the consumers of each sub-system.

Where the auxiliary plants present relevant three-phase absorption (e.g. due to the presence of a ventilation plant that is vital for the safe functioning of the structure), deriving the TE and the auxiliaries from the same supply bar would in fact inevitably lead to malfunctioning due to the inverse sequence components that a mono-phase withdrawal generates on the three-phase system it is derived from.

It is in fact known that a mono-phase withdrawal from a three-phase system is equivalent to inserting a superimposed "inverse sequence" system into the supply system, which produces opposite effects to those of the main system.

In other words, the final effect on all the railway locomotives would be that of "slowing them down".

For this reason, in the AV/AC lines that have exceptionally long tunnels, the railway plants with vital functions (for example, the ventilation plants or the fire protection system pumps) have numerous three-phase railway locomotives..

The result is evident: the railway locomotives would be required to function rotating in one direction (the right one) with a second system that would slow it down. The locomotives would be subjected to continuous and systematic heating that would reduce their working life and

OSSEVATORIO

lasso in tempi relativamente brevi dal momento che le sollecitazioni termiche accelerano l'invecchiamento dei materiali isolanti.

Tali effetti sarebbero amplificati dal fatto che gli impianti ausiliari di sicurezza (cui è richiesta la massima affidabilità di alimentazione/funzionamento) devono poter funzionare in caso di emergenza, ovvero proprio in quelle condizioni in cui è facile prevedere una richiesta energetica massima sia a livello di TE (treni prima fermati e successivamente chiamati ad uscire dalle gallerie, in condizioni di "spunto") che a livello di ventilazione (ventilazione massiva) e di impianti di sicurezza (antincendio ecc.).

Pertanto la promiscuità dell'alimentazione introdurrebbe una serie di aspetti di esercizio che si è voluto evitare, ovvero:

- l'interdipendenza tra i due sistemi aventi funzioni ed esigenze diverse ed in alcuni casi in contrapposizione funzionale;
- vincoli di riconfigurazione del sistema ogni qualvolta, per esigenze di manutenzione o guasto, si dovesse intervenire sul sistema TE; il ché comporterebbe non trascurabili rischi di errore umano dovendosi, per ciascuna situazione che si viene a creare, valutare l'assetto di rete più idoneo;
- ogni possibilità che il sistema degli impianti di sicurezza in galleria possa essere disalimentato contemporaneamente al sistema di trazione elettrica.

Quanto sopra ha comportato che di fatto esistono funzionalmente 3 SSE di trazione e 4 SSE per i servizi ausiliari sebbene da un punto di vista fisico esistano solo 4 siti.

Va da sé che in 3 di questi siti insistono contemporaneamente la SSE TE e la SSE Aux mentre in un solo sito (SSE Aux Italia 1) vi è solamente la SSE Aux.

Pertanto, l'architettura ipotizzata per la trazione elettrica si basa sullo schema esemplificativo di fig. 3, per cui valgono le seguenti interdistanze tra le sottostazioni SSE.

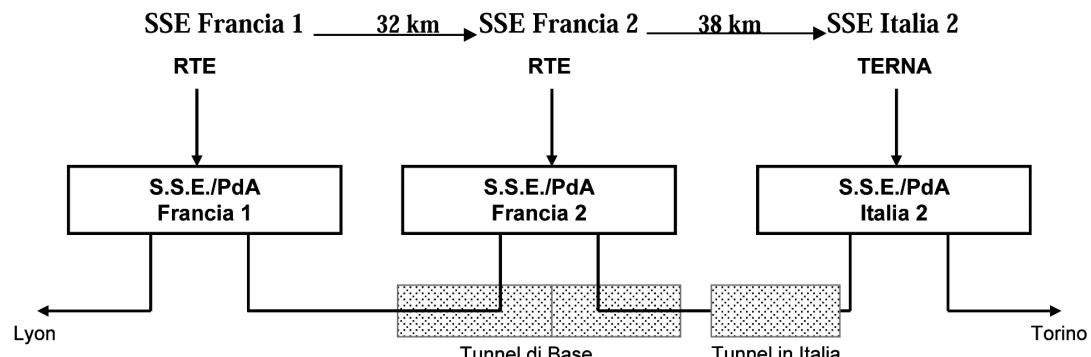


Fig. 3 – Schema di principio alimentazioni elettriche di trazione LTF. Diagram of the original electrical traction supply for the LTF section.

lead to collapse in relatively brief times, given that thermal stress accelerate the ageing of the isolating materials.

Such effects would be amplified by the fact that the auxiliary safety plants (from which the maximum reliability of supply/functioning is required) must be able to function in emergency conditions, that is, in those conditions in which it is easy to imagine a maximum energy request, both at a TE level (trains first stopped and then required to exit from the tunnel in "acceleration" conditions) and at a ventilation level (massive ventilation) and safety plant level (fire protection etc.).

The haphazard mingling of the supply would introduce a series of functioning aspects that were wished to be avoided, in other words:

- interdependency between the two systems with different functions and requirements and in some cases in functional contrast;
- reconfiguration constraints of the system whenever, for maintenance or break-down requirements, it is necessary to intervene on the TE system, which would involve non negligible risks of human error as it is necessary to evaluate the layout of the most suitable network for each situation that occurs;
- any possibility that the safety plant system in the tunnels could be cut off at the same time as the electric traction system.

The aforementioned facts means that 3 Traction SSEs and 4 SSEs for the auxiliary services in fact exist, although from the physical point of view only 4 sites actually exist.

It goes to say that the SSE TE and the SSE Aux exist contemporarily in 3 of these sites, while the SSE Aux is only in one site (SSE Aux Italia 1).

Therefore, the architecture hypothesised for the Electric Traction is based on the illustrative schema shown in figure 3, for which the following distances between the SSE sub-stations are valid.

OSSERVATORIO

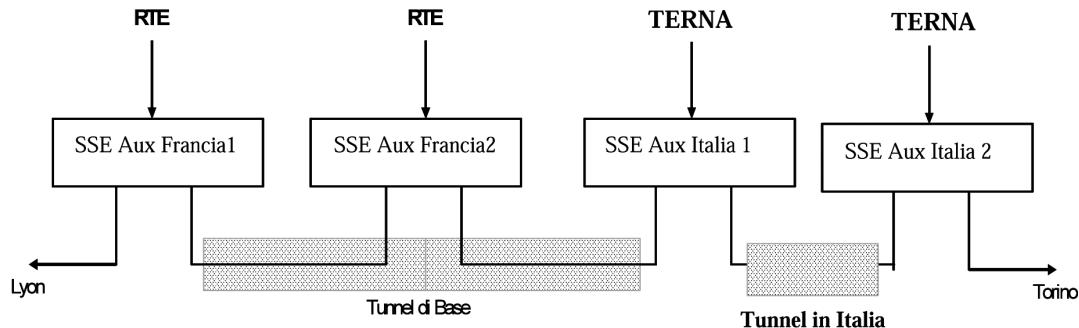


Fig. 4 – Schema di principio delle alimentazioni degli ausiliari per la tratta LTF. *Diagram of the original auxiliary supplies for the LTF section.*

L'alimentazione primaria sarà garantita in Francia dal gestore di rete elettrica RTE a 225 kV e in Italia da TERNA a 132 kV.

Al secondario troviamo il 2x25 kV-50 Hz monofase, standard per la trazione elettrica AV/AC.

Secondo lo schema AV "classico", il sistema di trazione prevede inoltre l'inserimento lungo linea (e pertanto in galleria) di una serie di posti di parallelo doppi intervallati mediamente ogni 7,5 km e costituiti da due gruppi di trasformatori 25 kV/25 KV da 10 MVA con isolamento in resina.

La particolarità della scelta dei trasformatori con isolamento in resina è dovuta alla minore infiammabilità della resina rispetto al normale olio di isolamento; tale fattore è imprescindibile per applicazioni in galleria.

Per contro come detto, *l'architettura dell'alimentazione degli impianti ausiliari* prevede l'innesto di una quarta SSE all'imbocco italiano del tunnel di base (fig. 4).

Anche in questo caso, l'alimentazione primaria sarà garantita in Francia dal gestore di rete elettrica RTE a 63 kV e in Italia da TERNA a 132 kV (come detto su terna di alimentazione diversa ed indipendente da quella della TE).

Tale alimentazione per gli ausiliari crea molti meno problemi rispetto all'alimentazione per la trazione elettrica, trattandosi di un prelievo di potenza relativamente ridotto (massimo 20 MVA), trifase e quindi equilibrato.

Al secondario troviamo il 20 kV trifase che verrà distribuito in tunnel su due dorsali parallele.

La quarta SSE "Italia 1" si è resa necessaria dal fatto che tendenzialmente la disponibilità degli impianti non ferroviari deve essere assoluta proprio perché tali impianti sono legati all'esercizio in sicurezza dell'intera infrastruttura. Infatti, in caso di perdita di alimentazione alla SSE "Francia 2", alimentare la dorsale a 20 kV dalla sola

The principle supply will be guaranteed in France by the RTE electric supply network at 225 kV and in Italy by TERNA at 132 kV.

The 2 x 25 kV-50 Hz mono-phase, which is standard procedure for AV/AC Electric Traction, is located in the branch line.

According to the "classical" AV schema, the traction system also involves the insertion of a series of double parallel lines along the line (and therefore in the tunnels) on average spaced each 7.5 km. These will be made up of two sets of transformers of 25 kv/25 KV of 10 MVA with isolation in resin.

The particularity of this choice of transformers with isolation in resin is due to the lower inflammability of the resin compared to the normal isolating oil; such a factor is essential for applications in tunnels.

On the other hand, as already mentioned, the *architecture of the supply of the auxiliary plants* foresees the insertion of a fourth SSE at the Italian adit of the base tunnel (figure 4).

Again in this case, the primary supply shall be guaranteed in France by the RTE electric network supplier at 63 kV and in Italy by TERNA at 132 kV (as already mentioned, on different and independent supply tern from that of the TE).

Such a supply creates fewer problems for the auxiliaries than for the supply of the electric traction, as it is a relatively reduced withdrawal (maximum 20 MVA), is three-phase and is therefore equilibrated.

The 20 kV three-phase, which will be distributed in the tunnels along two parallel ridges, is located in the branch line.

The fourth SSE, "Italia 1", was necessary since the availability of the non railway plants by nature must be guaranteed because these plants are connected to the safe functioning of the whole infrastructure. In fact, in the

OSSERVATORIO

SSE "Italia 2" avrebbe presupposto (su distanze dell'ordine di 45 km) cadute di tensione intollerabili per impianti vitali ai fini della sicurezza di esercizio.

In questo caso le interdistanze tra le SSE divengono:

Nei siti ove risulta contemporanea la presenza delle sottostazioni AT/MT dedicate alla trazione e agli impianti queste, seppur elettricamente distinte, sono state integrate nella stessa area al fine di minimizzare gli spazi occupati.

3. Il dimensionamento degli impianti TE - Analisi delle ipotesi assunte

Con riferimento allo schema di fig. 3, nel corso delle varie simulazioni di dimensionamento per la TE si è preso a riferimento il sezionamento di linea rappresentato in fig. 5.

Dalle simulazioni svolte risulta che la SSE di Francia 2 alimenta le due sezioni S2 e S3 contigue e "baricentriche" rispetto all'intera tratta LTF.

La potenza installata nelle SSE deve far fronte alla domanda del traffico prevedibile in condizioni di funzionamento normale e degradato, verificando cioè che il livello di potenza prodotto da ogni sottostazione sia sempre ammissibile al fine di assicurare un esercizio normale anche in condizioni degradate.

Per questo motivo sono stati studiati *due scenari tipici di esercizio ferroviario* evidenziando gli eventuali impatti negativi sulla circolazione dei treni:

- tutte le SSE sono in servizio (funzionamento normale);
 - una SSE è totalmente non funzionante ma le altre 2 SSE sono completamente operative (condizioni degradate).

In fase di dimensionamento, LTF ha adottato sui due punti le ipotesi più penalizzanti possibile, ovvero:

- il traffico è supposto equilibrato nei due sensi con riferimento al senso Francia-Italia più carico (tabelle 1 e 2);
 - tutti i treni merci sono supposti del tipo «pesante» (cioè da 1600 t);
 - treni AF da 750 m a pieno carico (2050 tonnellate lorde). Sono stati effettuati due tipi di simulazione.
 1. La prima simulazione riguarda l'ora di punta a saturazione del tunnel (ore 13-14 orizzonte lungo termine).

case of a loss of supply to the "France 2" SSE, supplying the ridge with 20 kV from only the "Italy 2" SSE would involve drops in voltage (along distances of the order of 45 km) that would be intolerable for vital plants in order to ensure safe functioning.

In this case the distances between the SSEs become:

In those sites where there is the contemporary presence of AT/MT substations dedicated to the traction and to the plants, these, although electrically distinct, have been integrated in the same area in order to minimise the occupation of space.

3. The dimensioning of the TE plants – Analyses of the assumed hypotheses

With reference to the diagram shown in figure 3, reference was made to the dissection of the line illustrated in figure 5 during the various dimensioning simulations for the TE.

From the simulations that were carried out, it results that the “France 2” SSE supplies the two S2 and S3 sections which are adjoining and “barycentric” considering the whole LFT section.

The power installed in the SSEs must satisfy the demand of the foreseeable traffic in normal and reduced functioning conditions, and thus it has to be verifying that the level of power produced by each substation is always admissible in order to ensure normal functioning, even in reduced conditions.

For this reason, two typical railway functioning scenarios have been studied, in which any possible negative impacts on the circulation of the trains have been highlighted:

- all the SSEs are working (normal functioning);
 - one SSE is not working at all, but the other 2 SSEs are working fully (reduced conditions).

LFT adopted the most penalising hypotheses possible concerning the two points during the dimensioning stage, in other words:

- the traffic is considered equilibrated in both directions with the France-Italy direction being most loaded (see tables 1 and 2);
 - all the goods trains are considered of a “heavy duty” type (that is, of 1600 tons);

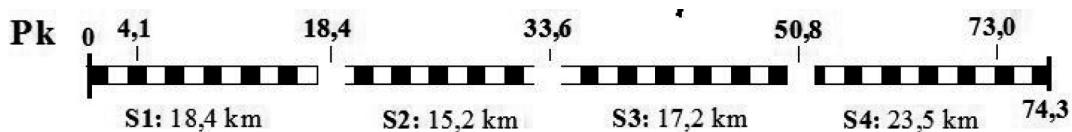


Fig. 5 - TE - sezionamento di linea. *TE dissection of line.*

OSSERVATORIO

2040), corrispondente alla circolazione oraria e per senso di marcia di:

- 2 treni di AF a 120 km/h 2050 tonnellate lorde;
- 9 treni merci di 1600 tonnellate lorde a 100 o 120 km/h.

Questa simulazione permette di definire la potenza massima richiesta durante l'ora di punta.

2. La seconda serie di simulazioni si riferisce al traffico giornaliero di base all'orizzonte di lungo termine, ossia per ogni senso di marcia:

- 18 treni viaggiatori ad alta velocità;
- 54 treni di AF;
- 151 treni merci circolanti sulla linea nuova;

considerando che la lunghezza massima dei treni di AF e merci è di 750 metri.

Questa seconda serie di simulazioni permette, da una parte, di definire la compatibilità della potenza apparente che una sottostazione deve produrre nel caso più sfavorevole con riguardo alla potenza massima che ogni sottostazione può fornire e, d'altra parte, di verificare la conformità della tensione disponibile al pantografo con le STI. Queste simulazioni sono realizzate sulla base di due configurazioni di esercizio:

- una situazione di «marcia secondo orario» che corrisponde ad un esercizio in situazione normale;
- una situazione di «marcia tesa» a seguito di degrado di esercizio, nella quale i treni consumano il massimo di energia a partire da una velocità nulla per raggiungere la velocità massima della loro categoria (condizioni di «spunto»).

Per ogni configurazione, si sono poi considerate quattro situazioni una «normale» e tre «di emergenza», ovvero:

- una situazione «normale» nella quale tutte le sottostazioni sono operative;
- una situazione nella quale la sottostazione di «Francia 1» è fuori servizio;
- una situazione nella quale la sottostazione di «Francia 2» è fuori servizio;
- una situazione nella quale la sottostazione «Italia 2» è fuori servizio.

Dagli studi di simulazione risulta che le potenze massime in modalità normale, per il traffico definito dagli scenari dimensionanti, sono:

- 48 MW/14 Mvar/50 MVA per la SSE di «Francia 1»;
- 82 MW/24 Mvar/85 MVA per la SSE di «Francia 2»;
- 57 MW/18 Mvar/60 MVA per la SSE «Italia 2».

Per contro i carichi ottenuti su ciascuna SSE in condizioni degradate sono riassunti in tabella 3.

Da essa si evincono anche i massimi carichi attesi su

- 750 m long AF trains with full loads (2050 tons gross weight).

Two types of simulation have been carried out:

1. The first simulation concerns the saturation rush hour in the tunnel (between 13-00 and 14-00 pm in the long term view – 2040), which corresponds to an hourly circulation and for each direction of:

- 2 AF trains at 120 km/h with 2050 tons gross weight;
- 9 goods trains with 1600 tons gross weight at 100 or 120 km/h.

This simulation allows the maximum power requested during the rush hour to be defined.

2. The second series of simulations refer to the basic daily traffic from a long term point of view, that is, for each direction:

- 18 high velocity passenger trains;
 - 54 AF trains
 - 151 goods trains circulating on the New Line;
- considering that the maximum length of AF and goods trains is 750 metres.

This second series of simulations, on one hand, allowed us to define the compatibility of the apparent power a substation has to produce, in the most unfavourable conditions concerning the maximum power that each substation can supply, and, on the other hand, to verify the conformity of the voltage available to the pantograph with the STIs. These simulations were carried out on the basis of the two working condition configurations:

- an «operation according to the timetable» situation which corresponds to functioning in a normal situation;
- a «stretched operation» situation subsequent to the reduction in operation, in which the trains consume the maximum energy starting from a null velocity and reaching the maximum velocity of their category («acceleration» conditions).

Four situations were considered for each configuration: a «normal» one and three «emergency» ones, that is:

- a «normal» situation in which all the substations are operating;
- a situation in which the «France 1» substation has broken down;
- a situation in which the «France 2» substation has broken down;
- a situation in which the «Italy 2» substation has broken down.

From the simulation studies, it resulted that the maximum power in normal mode, for the traffic defined for the dimensioned scenarios, are:

- 48 MW/14 Mvar/50 MVA for the «France 1» SSE;

OSSERVATORIO

TABELLA 3
TABLE 3

POTENZE MONOFASE MVA (E TRIFASE EQUIVALENTI) ASSORBITE DA CIASCUNA SSE NELLE VARIE CONDIZIONI DI ESERCIZIO (NORMALE E DEGRADATO). MVA MONO-PHASE (AND THE EQUIVALENT THREE-PHASE) POWER ABSORBED BY EACH SSE UNDER THE VARIOUS FUNCTIONING CONDITIONS (NORMAL AND REDUCED)

Potenza massima apparente in marcia tesa (valori istantanei in MVA)																	
		Monofase				Trifase equivalente				Monofase				Trifase equivalente			
		Phase	Fra1	Fra2	Ita2	Fra1	Fra2	Ita2	Fra1	Fra2	Ita2	Fra1	Fra2	Ita2			
			S1	S2	S3	S4			S1	S2	S3	S4					
Normale 3 SSE	S1 e S2 a maxi	ac	50				87	135	35	50	29		87	134	35		
		ab		58		27				56		20					
		bc															
		ac															
		ab															
		bc															
		ac															
		ab															
		bc															
		ac	108				47	187	81	79	56		20	208	35		
		ab								76							
		bc															
		ac	50	58	47		87	160		76	137		87	132			
		ab															
		bc															
		ac															
		ab															
		bc															
Normale 3 SSE	S4 e S2 a maxi	ac	9			58	60	16	135	16	60	134	104	9	29	60	104
		ab				27				56				29	56	104	
		bc															
		ac															
		ab															
		bc															
		ac															
		ab															
		bc															
		ac	67			27	60		150		60		145		38	56	104
		ab															
		bc															
		ac	67				87	116	151					116	66	201	
		ab															
		bc															
		ac	9	58	87		16	224		16	238			29	116		
		ab															
		bc															

ciascuna sezione di linea (per ciascuna fase teoricamente interessata) nelle varie condizioni di emergenza.

Nella tabella mancano due coppie:

- la S1 e S4 perché non può avere mai massimi assoluti contemporanei. Difatti in assenza di Francia 2 si modulerà di volta in volta il carico di fase cercando di non arrivare nello stesso istante al massimo valore dimensionante per singola sezione;
- la S2 e S3 perché rappresenta la condizione di assenza contemporanea di Francia 1 e Italia 2. La qual cosa, come si vedrà nel proseguito, è materialmente impossibile.

A seguito dei risultati ottenuti, si è deciso di equipaggiare con 2 trasformatori ad olio da 60 MVA le SSE di estremità di cui uno previsto attivo e l'altro in riserva fred-

- 82 MW/24 Mvar/85 MVA for the "France 2" SSE;
- 57MW/18Mvar/60 MVA for the "Italy 2" SSE.

The charges obtained on each SSE in reduced conditions are summarised in Table 3 for comparison purposes.

From this table it is also possible to deduce the maximum charges expected on each section of the line (for each theoretically involved phase) in the different emergency conditions.

Two couples are missing from the table:

- S1 and S4, since the absolute maximum cannot occur at the same time. In fact, should "France 2" be missing, the phase charge would change a little at a time in an attempt to not arrive at the maximum value dimensioned for each section at the same instant;

OSSERVATORIO

da, secondo lo schema classico dell'AV italiana. Per contro la SSE mediana "Francia 2" risulterà dotata di 3 trasformatori ad olio da 60 MVA (di cui due normalmente attivi e uno sempre in riserva fredda).

4. Modalità di connessione alla rete di trasmissione nazionale (TERNA e RTE)

Come visto nei paragrafi precedenti, la Nuova Linea ferroviaria Torino Lione è alimentata da 3 sottostazioni elettriche con passo di oltre 30 km l'una dall'altra. Le prime due sono posizionate in territorio francese ed alimentate pertanto dalla rete nazionale francese (RTE), mentre la terza è posizionata in Italia e pertanto alimentata dalla rete di trasmissione nazionale italiana (TERNA).

Le SSE dal lato francese sono alimentate con due linee in cavo interrato alla tensione di 225 kV, mentre dal lato italiano con due linee in cavo interrato alla tensione di 132 kV provenienti dalla costruenda Cabina Primaria TERNA AT/AT 380/132 kV.

E' da sottolineare come la connessione per la SSE Francia 1 è prevista direttamente sulle linee a 225 kV, mentre per SSE Francia 2 è da prevedersi, ad opera di RTE, una cabina primaria 400/225 kV dall'elettrodotto 400 kV Villarodin-La Praz St. André.

In Italia invece la Cabina Primaria 380/132 kV prenderà alimentazione dall'elettrodotto a 380 kV Villarodin-Piossasco e sarà dotata di due trasformatori da 250 MVA, valore in linea con le prescrizioni TERNA.

Entrambe queste cabine primarie saranno realizzate contestualmente alla realizzazione dell'opera ferroviaria.

Le SSE di trazione sono sempre alimentate in entrambi i modi da poter disporre di una doppia alimentazione. Tale requisito è indispensabile per ottenere un'alta affidabilità dell'esercizio ferroviario. L'elevato livello di tensione e la relativamente alta potenza di cortocircuito della rete associata permettono di minimizzare gli squilibri delle tensioni elettriche dovuti al sistema di trazione monofase.

5. Analisi della capacità del sistema di alimentazione ferroviaria di soppiare a guasti gerarchizzati in magnitudo (perdita di una SSE, perdita due SSE)

Come visto al § 3, l'eventuale perdita di una SSE nella struttura di trazione elettrica del progetto LTF non provocherebbe di fatto alcuna ricaduta sul traffico né in termini di potenzialità di linea né in termini di velocità, ma solamente il passaggio nominale da esercizio in condizioni normali a esercizio in condizioni degradate temporanee.

- S2 and S3, since it represents the condition of temporary absence of "France 1" and "Italy 2", which, as will be seen later on, is physically impossible.

On the basis of the results that were obtained, it was decided to equip the SSEs at the ends with 2 oil 60 MVA transformers, one of which will be active and the other held in cold reserve, according to the classical schema of the Italian AV. On the other hand, the "France 2" midline SSE will be equipped with 3 oil 60 MVA transformers (of which two will normally function and one will be held in cold reserve).

4. Modality of connection to the national transmission networks (TERNA and RTE)

As seen in the previous sections, the Turin-Lyons New Railway Line is supplied by 3 electric substations with distances of over 30 km between each other. The first two are located in France and therefore supplied by the French national network (RTE), while the third one is in Italy and is therefore supplied by the Italian national network (TERNA).

The SSEs on the French side are supplied through two underground cable lines at a voltage of 225 kV, while on the Italian side, the SSE is supplied by two underground cable lines with a voltage of 132 kV that comes from the still to be constructed TERNA AT/AT 380/132 kV Primary Cabin.

It should be underlined that the connection for the "French 1" SSE is foreseen directly on the lines at 225 kV, while for the "French 2" SSE, a 400/225 kV Primary Cabin, which will be built by RTE, is foreseen from the 400 kV Villarodin-La Praz St. André long-distance power line.

In Italy instead, the 380/132 kV Primary Cabin will take its supply from the 380 kV Villarodin-Piossasco long-distance power line and it will be equipped with two 250 MVA transformers, with a value that is in line with the TERNA regulations.

Both these Primary Cabins shall be built at the same time as the construction of the railway line.

The traction SSEs are always entry-exit supplied in order to be able to have a double supply available. This requirement is indispensable to obtain high railway functioning reliability. The high level of voltage and the relatively high short-circuit power of the associated network make it possible to minimise the unbalances of the electric voltage due to the mono-phase traction system.

5. Analyses of the capacity of the railway supply system to make up for break downs hierarchized in magnitude (loss of an SSE, loss of two SSEs)

As seen in § 3, the possible loss of an SSE in the electric traction structure of the LTF project would not have

OSSERVATORIO

Ben diverso sarebbe lo scenario in condizioni di perdita contemporanea di due SSE su tre.

Risulta evidente che questa eventualità esula dal contesto meramente ferroviario e chiama in causa le reti AT di alimentazione primarie gestite da TERNA in Italia e da RTE in Francia.

Per indagare su questo tipo di eventualità, nel 2008 LTF ha coinvolto le stesse TERNA e RTE in uno studio di approfondimento basato sull'affidabilità delle reti elettriche nazionali e tarato su un orizzonte temporale 2018-2020 (pianificazione di sviluppo rete cosiddetto a "medio termine").

A monte si è stati costretti ad eseguire una simulazione teorica relativa agli assorbimenti necessari a evacuare i treni dal tunnel nelle condizioni di una sola SSE in funzione e con traffico critico per treni passeggeri (ovviamente i più "sensibili" ad una rapida evacuazione del tunnel).

Al momento dell'evento accidentale si è supposto che all'interno dei due Tunnel possano essere presenti 8 treni per ciascun binario, delle seguenti tipologie:

- 2 TGV (o ETR);
- 3 AF da 750 m;
- 3 Merci pesanti.

La sequenza dei treni e la loro posizione è rappresentata nella fig. 6, nella quale sono riportate anche le penedenze assunte per la verifica.

Note le caratteristiche dei treni (cfr. § 1), al verificarsi dell'evento si ipotizza che tutto il sistema di trazione elettrica LTF vada completamente fuori servizio. A seguito di ciò si procede con la riconfigurazione del sistema, che prevede continuità elettrica sull'intera tratta LTF, nel caso di perdita di "Francia 2" e "Italia 2", con alimentazione dalla sola SSE di Francia 1 o viceversa continuità elettrica con alimentazione dalla sola SSE "Italia 2" (la perdita contemporanea di alimentazione primaria di "Francia 1" e "Italia 2" è stata giudicata dai gestori nazionali di rete elettricamente impossibile-vedi seguito).

La configurazione del sistema di alimentazione prevede che tutti i Posti di Parallello siano in funzione.

La fermata di tutti i convogli e la successiva ripartenza contemporanea costituiscono un'ipotesi gravosa per il sistema di alimentazione.

Al ritorno della tensione al filo di contatto i treni fermi nelle gallerie riprendono allo stesso istante la marcia procedendo poi a velocità costante di 30 km/h ed iniziando l'esodo verso l'esterno.

In figg. 7 e 8 sono riportate le curve di avviamento in termini di potenza elettrica assorbita per ciascuna tipologia di treno definita, per ripartenza da fermo in corrispondenza del punto di fermata. Di fatto tali diagrammi valgono per entrambe i casi di alimentazione da un estremo: SSE "Francia 1" o SSE "Italia 2" (le differenze di po-

any consequence on the traffic, either in terms of potentiality of the line or in terms of velocity; only the nominal passage of functioning in normal conditions to functioning in temporary reduced conditions would occur.

The scenario in conditions of contemporary loss of two SSEs out of three would instead be another story.

It is evident that this type of eventuality would fall outside the purely railway context and would involve the AT primary supply networks organised by TERNA in Italy and RTE in France.

In 2008, LTF involved TERNA and RTE in an in depth study on the reliability of the national electric networks. This study was calibrated to a 2018-2020 time horizon, (the so-called "middle-term" network development planning), and it was carried out to investigate the aforementioned type of eventuality.

First, it was necessary to carry out a theoretical simulation relative to the absorptions necessary to evacuate trains in a tunnel in the conditions of only one SSE functioning and with critical traffic for passenger trains (obviously more "sensitive" to a rapid evacuation of the tunnel).

At the moment of the accidental event, it was presumed that 8 trains were present on each track inside the two tunnels. The presumed trains were of the following types:

- 2 TGV (or ETR);
- 3 750 m long AF;
- 3 heavy goods.

The sequence of the trains and their positions are shown in Figure 6, in which the slopes assumed for the verification are also reported.

The characteristics of the trains being known (cf. § 1), it was hypothesised that, at the moment of the accident, the entire LTF electric traction system would break down. After this, the system would be set up again, and this involves electric continuity over the entire LFT stretch, in the case where "France 2" and "Italy 2" break down, with supply from only the "France 1" SSE or electric continuity with supply from only the "Italy 2" SSE (the contemporary lack of primary supply from "France 1" and "Italy 2" was judged to be impossible by the national electric network suppliers - see later on).

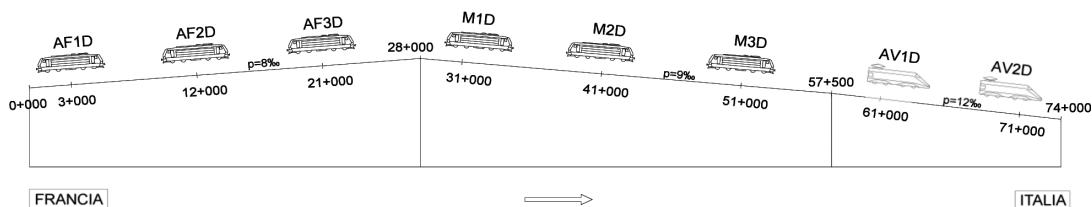
The configuration of the supply system foresees that all the Parallel Stations are functioning.

The stopping of all the trains and their subsequent restarting is a burdensome hypothesis for the supply system.

As soon as the voltage is returned to the contacting wire, the trains in the tunnels start again at the exact same instant and proceed at a constant velocity of 30 km/h and begin to make their way towards the exit and the open air.

OSSERVATORIO

PROFILO LONGITUDINALE
BINARIO 1 (DISPARI)



PROFILO LONGITUDINALE
BINARIO 2 (PARI)

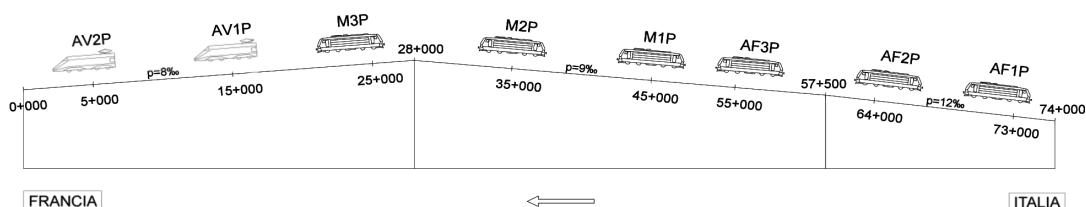


Fig. 6 - Sequenza treni binari pari/dispari. Sequence of trains on the odd/even tracks.

chi kW che realmente esistono non sarebbero apprezzabili nei diagrammi).

Per quanto riguarda la potenza erogata dall'unica SSE rimasta in servizio (sia essa "Italia 2" o "Francia 1") il grafico di fig. 9 è chiaro nell'evidenziare che la punta di potenza è dell'ordine dei 30 MVA che corrisponde anche alla potenza erogata mediata in 15 minuti. Inoltre le simulazioni hanno dimostrato che in tutti i casi la tensione al pantografo si mantiene ben al di sopra del valore minimo permanente stabilito dalla norma EN 50163 (19.000 Volt) e pertanto non esistono dubbi sulla fattibilità dell'operazione di esodo.

Qualora gli Enti gestori delle due reti elettriche riuscissero a garantire una potenza pari alla potenza di un gruppo di trasformazione (60 MVA) lo scenario sarebbe completamente diverso e assai più rassicurante per quanto riguarda i tempi di sgombero dei treni dalla galleria che potrebbe essere attuata a velocità doppia di quella ipotizzata (60 km/h), sgomberando così l'intero tunnel in meno di 1 ora.

Con queste condizioni di assorbimento sono stati individuati gli incidenti più gravosi che possono compromettere l'alimentazione primaria delle SSE di LTF (sia in Italia che in Francia).

The starting up curves for the restarting of each type of train, defined from a stationary position, in correspondence to the stopping point, are shown in Figures 7 and 8 in terms of absorbed electric power. These diagrams are in fact valid for both cases of supply from one end: the "France1" SSE or the "Italy 2" SSE (the differences of a few kW that actually exist would not be appreciable in the diagrams).

As far as the power supplied by the only SSE remaining in service is concerned (whether it be "Italy 2" or "France 1"), the graphic is clear in showing the power peak is of an order of 30 MVA, which also corresponds to the averaged out power supplied over 15 minutes. Furthermore, the simulations have also demonstrated that the voltage at the pantograph is in all cases well above the permanent minimum value established by the EN 50163 standard (19.000 volts) and therefore there are no doubts about the feasibility of the evacuation operations.

If the supplying organisations of the two electric networks were able to guarantee a power equal to the power of a group of transformers (60 MVA), the scenario would be completely different and much more reassuring as far as the removal of the trains from the tunnel is concerned

OSSERVATORIO

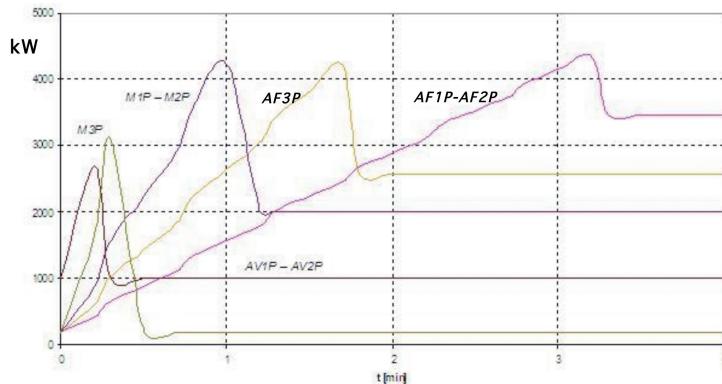


Fig. 7 - Andamento della potenza assorbita dai treni sul binario pari per ripartenza da fermo in corrispondenza del punto di fermata. *Trend of the power absorbed by the trains of the even track for restarting from a stationary position in correspondence to the stopping point.*

In particolare si è visto che tali incidenti sono riconducibili esclusivamente a contingenze doppie (condizione di rete elettrica primaria in "N-2"), causate cioè dal contemporaneo fuori servizio per guasto di due elementi di rete elettrica oppure da eventi di guasto in occasione di un fuori servizio per manutenzione di un elemento di rete elettrica.

Con riferimento alla fig. 10, che descrive fisicamente gli elettrodotti di allaccio alle SSE LTF, ogni singolo scenario in "N-2" è stato poi valutato nel dettaglio ottenendo mediamente che nelle peggiori condizioni possibili la probabilità di *indisponibilità doppia contemporanea* per guasto è di circa *1 volta ogni 1.200 anni* e la probabilità di *indisponibilità doppia contemporanea per guasto + manutenzione* è di circa *1 volta ogni 150 anni*.

Lo studio delle contingenze doppie di elementi di rete ha rivelato che nel peggiore dei casi si potrebbe effettivamente avere la perdita contemporanea di due sottostazioni LTF, in particolare quella di "Italia 2" e di "Francia 2".

In effetti, in caso d'incidente sulla linea 400 kV d'alimentazione primaria della SSE "Italia 2" (linea Villarodin-Piossasco) nel corso della manutenzione della linea 400 kV Villarodin-La Praz St. André le sotto stazioni di "Francia 2" e "Italia 2" resterebbero disalimentate (probabilità di accadimento: una volta ogni 150 anni).

Per contro la zona dell'alta Maurienne resta comunque alimentata a 225 kV indipendentemente

as the process could be started at twice the speed that was hypothesised (60 km/h), thus the whole tunnel would be emptied in less than an hour.

The most taxing accidents that could compromise the primary supply of the LFT SSEs (both in Italy and in France) have been identified for these absorption conditions.

It was observed, in particular, that these accidents can exclusively be put down to double contingencies (conditions of the primary electric network in "N-2", caused by the contemporary non functioning of two elements of the electric network due to break down or to break down events on occasion of the non functioning of an element of the electric network for maintenance works.

With reference to Figure 10, which physically describes the connecting long-distance power lines to the LFT SSEs, each single scenario in "N-2" has been evaluated in detail and it has been found that on average, and in the worst possible conditions, the probability of a *contemporary double unavailability*, due to breakdown, is about *once every 1200 years* and the probability of a *contemporary double unavailability*, due to *breakdown + maintenance works*, is about *once every 150 years*.

The study of the double contingency of network elements has revealed that, in the worst case, it could in fact be possible to have the contemporary breakdown of two LFT substations, in particular that of "Italy2" and "France 2".

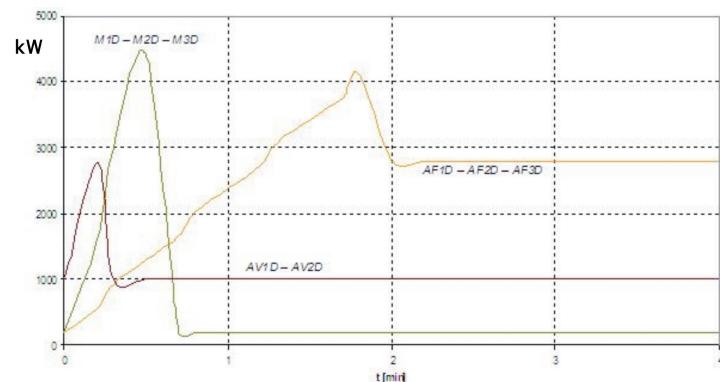


Fig. 8 - Andamento della potenza assorbita dai treni sul binario dispari per ripartenza da fermo in corrispondenza del punto di fermata. *Trend of the power absorbed by the trains on the odd track for restarting from a stationary position in correspondence to the stopping point.*

OSSERVATORIO

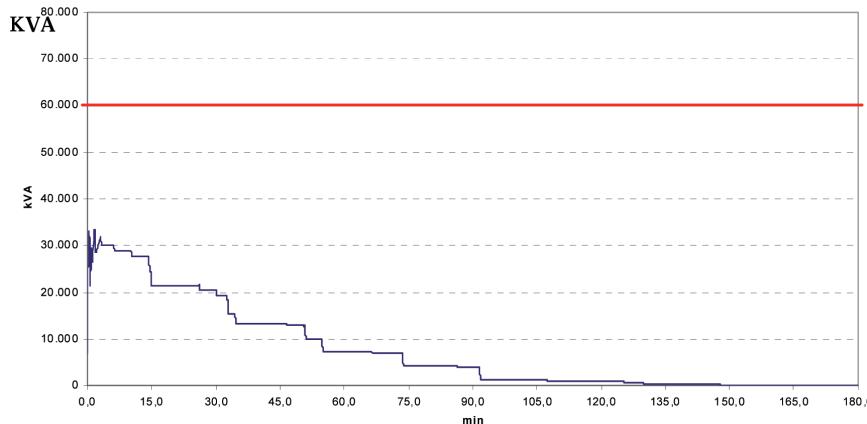


Fig. 9 - Assorbimenti allo spunto per la singola SSE attiva. *Absorption of the acceleration for the only active SSE.*

mente dalla situazione del momento (connessione o non connessione tra Longefan e La Praz St. André) e pertanto la SSE di "Francia 1" mantiene la sua alimentazione permettendo la fuoriuscita dei treni dal tunnel a velocità ridotta (circa 60 km/h per 60 MVA d'assorbimento in rete).

Essendo infine le SSE di "Francia 1" e "Italia 2" allacciate elettricamente su due circuiti di rete totalmente indipendenti e scollegati (una sulla rete 225 kV francese e l'altra sulla rete 400 kV italiana), la perdita contemporanea

degli impianti di rifornimento elettrici della linea ferroviaria non avrebbe alcun effetto sulla continuità di funzionamento della linea ferroviaria.

Finally, as "France 1" and "Italy 2" are electrically connected to two totally independent and unconnected network circuits (one on the French 225 kV network and the other on the Italian 400 kV network), the contemporary

In fact, in the case of an accident on the 400 kV primary supply line of the "Italy 2" SSE (Villarodin-Pirossasco line) during maintenance works on the 400 kV Villarodin-La Praz St. André line, the "France 2" and "Italy 2" substations would remain without supply (probability of this happening: once every 150 years).

On the other hand, the high Maurienne zone would remain supplied at 225 kV, re-

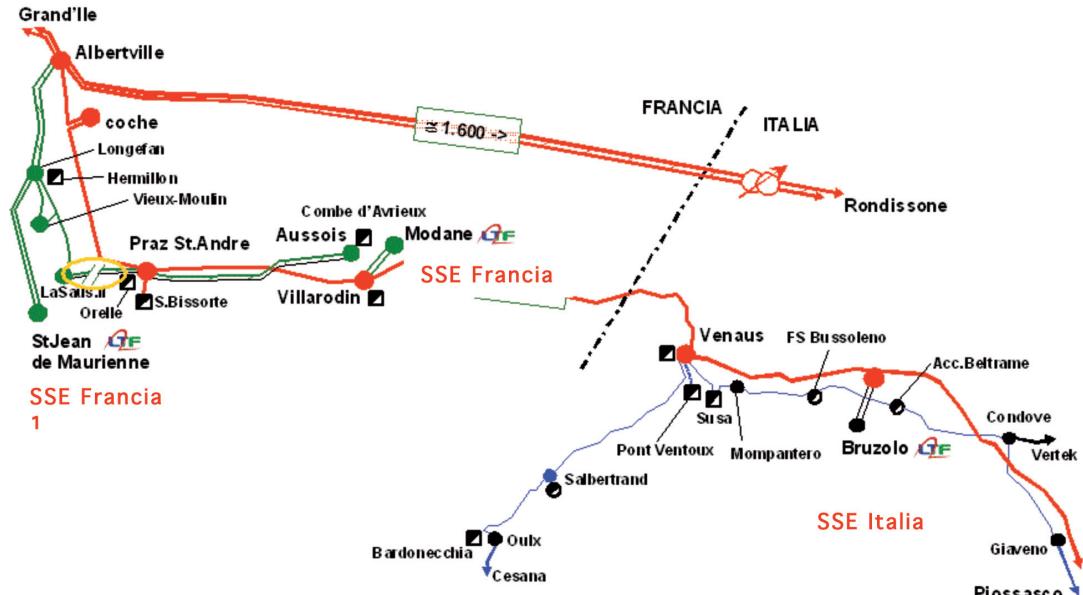


Fig. 10 - Linee 400 kV in rosso; linee 225 kV in verde; linee 132 kV in blu e nero. *The 400 kV lines are in red, the 225 kV lines are in green and the 132 kV lines are in blue and black.*

OSSEVATORIO

nea di queste due SSE è stata esclusa dai gestori nazionali di rete e pertanto reputata a probabilità nulla.

Da notare come RTE e TERNA abbiano stimato congiuntamente che anche nel più restrittivo dei casi i tempi della completa riattivazione di tutte e tre le SSE non superino mai i 45 minuti.

In particolare la rialimentazione delle due sotto stazioni fuori servizio è assicurata in un periodo di 20 minuti per "Italia 2" e 45 minuti per "Francia 2".

6. Conclusioni

Tutte le simulazioni condotte evidenziano la robustezza dell'impianto progettuale di LTF per la TE e soprattutto la caratteristica che, in qualunque situazione di degrado, il sistema è in grado di far fronte alle potenze richieste anche nelle condizioni di traffico più impegnative.

Inoltre i valori di tensione al pantografo resterebbero sempre nei limiti prescritti dalle STI Energia.

L'analisi degli incidenti più importanti per l'alimentazione primaria ha condotto a presupporre nei casi più sfavorevoli la disalimentazione di due sotto stazioni su tre.

Gli incidenti esaminati sono del tipo: avaria durante una manutenzione, avaria doppia contemporanea su due apparati di sistema della rete elettrica (cui potrebbe ricordarsi anche il caso di black out nazionale in Francia per il quale la sola SSE attiva sarebbe quella italiana).

La probabilità più rilevante (avaria durante una manutenzione) non supera quella di un incidente ogni 150 anni.

Nel caso peggiore, la sotto stazione che comunque resta in servizio (verosimilmente la SSE di "Francia 1") garantirebbe comunque l'alimentazione elettrica necessaria per estrarre tutti i treni, seppure a velocità ridotta (circa 60 km/h).

I tempi massimi di riattivazione delle SSE in avaria non supererebbero mai i 45 minuti.

In conclusione nella progettazione si è cercato di adottare una configurazione del sistema di alimentazione che, seppure impegnativa dal punto di vista sia tecnico che economico, consenta di centrare l'obiettivo di avere la massima continuità di esercizio allo scopo di far in modo che per nessuna prevedibile ragione, anche se di probabilità bassa, si possa verificare l'evento per cui convogli merci o viaggiatori restino bloccati all'interno del tunnel per un dissevizio elettrico.

breakdown of these two SSEs was excluded by the national power suppliers and therefore considered as null probability.

It should be noted how RTE and TERNA together estimated that, even for the most prohibitive case, the times for the complete reactivation of all three SSEs never goes above 45 minutes.

The resupply of the two stations non functioning stations is in particular ensured within a period of 20 minutes for "Italy 2" and 45 minutes for "France 2".

6. Conclusions

All the simulations that have been carried out have underlined the robustness of the plant designed by LTF for the TE and above all the characteristic that, in any reduced situation whatsoever, the system is able to deal with the power requested, even in the heaviest traffic conditions.

Furthermore, the voltage values to the pantograph would always remain within the limits established by STI Energia.

The analysis of the most important accidents for the primary supply has led to consider a supply interruption to two out of three substations in the worst of cases.

The accidents that were examined were of the following types: breakdown during maintenance works, double contemporary breakdown on two pieces of apparatus of the electric network system (which could also be put down to a national black out in France for which the only SSE working would be the Italian one).

The most relevant probability (breakdown during maintenance works) does not exceed that of an accident every 150 years.

In the worst case, the substation that would remain functioning (most likely the "France 1" SSE) would, however, guarantee the necessary electric supply to remove all the trains from the tunnels, although at a reduced speed (about 60 km/h).

The maximum reactivation times of the non functioning SSEs would never exceed 45 minutes.

At the end of the project, an attempt was made to adopt a configuration of the supply system which, although demanding from both the technical and economic points of view, would allow the target of having the maximum continuity of service to be hit on the head so that, for no foreseeable reason, even though unlikely, it could happen that goods or passenger trains would remain blocked inside a tunnel because of an electrical inefficiency.