



L'evoluzione degli impianti di trazione elettrica a 25 kV in Italia

The Evolution of 25 kV Electric Traction Systems in Italy

Dott. Ingg. Guido GUIDI BUFFARINI^(*), Antonio COLLA^(*), Alvaro FUMI^(**)

SOMMARIO - L'articolo illustra le principali soluzioni innovative introdotte negli impianti di energia e trazione elettrica 2 x 25 kV delle linee AV/AC italiane. Tali soluzioni riguardano l'architettura dell'alimentazione in alta tensione, le configurazioni dei tratti neutri, il sistema di messa a terra della linea di contatto in galleria, il sistema di telecomando DOTE e di diagnostica e l'impiego sperimentale di filo di contatto in Cu-Mg.

1. Premessa

Gli impianti di energia e trazione elettrica (fig. 1) delle nuove linee ferroviarie ad alta velocità sono, come noto, realizzati con il sistema 2 x 25 kV. Le linee AV/AC Roma-Napoli e Torino-Novara sono già in esercizio. Per le linee di recente o prossima attivazione, Milano-Bologna e Bologna-Firenze, e le future linee in fase di progetto tra cui in particolare la Milano-Verona sono state compiute, sempre nell'ambito del sistema 2 x 25 kV, alcune scelte progettuali innovative legate a diversi fattori quali la peculiarità dei territori, l'evoluzione del quadro normativo e i riscontri di esercizio sulle prime tratte.

Relativamente al quadro normativo si segnalano in particolare il DM del 28/10/2005 [7] sulla sicurezza nelle gallerie ferroviarie e la Specifica tecnica di interoperabilità del sottosistema energia [6], emanata dalla Comunità Europea.

2. Descrizione del sistema 25 kV

Le scelte di base di progetto del sistema AV effettuate per la prima tratta Roma-Napoli si sono dimostrate idonee nel definire un sistema in linea con le potenzialità richieste dal traffico ferroviario e con gli aspetti più signifi-

SUMMARY - This article illustrates the main innovative solutions developed for the 2 x 25 kV power supply and electric traction systems of the Italian high-speed/high-capacity railway lines. These solutions concern the architecture of the high-voltage power supply, the neutral section configurations, the electric traction earthing system in tunnels, the DOTE system for remote control, the diagnostics system and the experimental use of Cu-Mg contact wires.

1. Premise

The new high-speed/high-capacity lines, presently in operation, Rome-Naples and Turin-Novara are electrified with a 2 x 25 kV 50 Hz a.c. system.

For the Milan-Bologna and Bologna-Florence lines, to be put in operation within the current year, and the lines currently being planned, in particular the Milan-Verona line section, several innovative design choices have been made regarding this supply system. These innovations were developed in response to various factors, such as the particular characteristics of the intended locations, changes in the relevant regulations and experience gained in the design and operation of the first lines.

Regarding regulation issues, the Ministerial Decree (MD) of 28/10/2005 [7] on safety in railway tunnels and technical specifications for interoperability of energy subsystem [6] published by the European Community are of particular relevance.

2. Description of the 25 kV System

The main planning choices made for the first line, Rome-Naples, of the high-speed system in Italy were found to be suitable for the definition of a rail network matching the potential demand for railway traffic and the most important aspects of European regulation for interoperability.

In particular, the salient elements were: upgrading the network to a 25 kV system, as required nowadays for lines

^(*) Italferr S.p.A.

^(**) RFI S.p.A.

cativi previsti dalla normativa Europea sull'interoperabilità.

In particolare gli elementi salienti furono l'innovare la rete con un sistema a 25 kV, come oggi prescritto per le linee con velocità superiori ai 250 km/h, ed in particolare scegliere il sistema 2 x 25 kV con elevate prestazioni, in funzione delle potenze assorbite e del cadenzamento dei treni.

I due vantaggi fondamentali di tale sistema rispetto al 25 kV classico sono una potenzialità molto più elevata a parità di distanziamento delle sottostazioni ed una ridotta emissione di interferenze nei riguardi dell'ambiente, degli impianti di terzi e degli impianti ferroviari esistenti.

I criteri generali di progetto ed il progetto di massima del sistema furono illustrati nell'articolo [1], pubblicato su Ingegneria Ferroviaria nel Novembre 1994.

2.1. Configurazione e caratteristiche del sistema

Il sistema 2 x 25 kV prevede, per una linea a doppio binario, oltre le due linee di contatto alimentate a 25 kV, due feeder alimentati a 25 kV in opposizione di fase. Ogni 10-15 km sono installati, nei cosiddetti posti di parallelo doppio (PPD), due autotrasformatori con rapporto 1:2 con i terminali estremi collegati rispettivamente alle linee di contatto e ai feeder ed il terminale centrale collegato al binario. In ciascun PPD tra i due autotrasformatori è installato un tratto neutro (TN) rialimentabile mediante appositi sezionatori ed interruttori. Un TN è installato anche in corrispondenza di ciascuna sottostazione (SSE).

In prossimità dei posti di confine con il 3 kV (POC), sono installati posti di parallelo semplice (PPS) provvisti di un solo autotrasformatore.

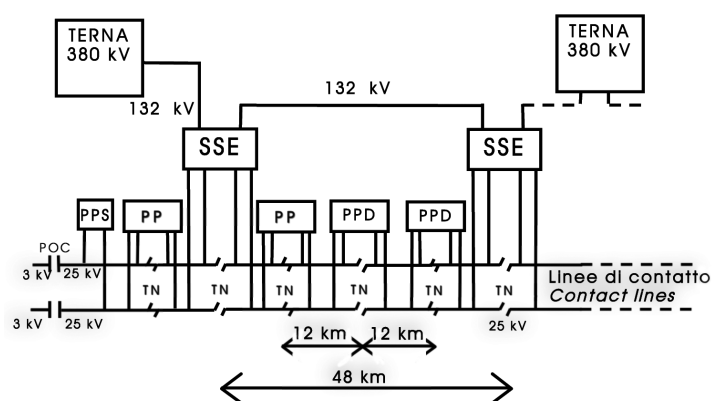


Fig. 2 - Schema di alimentazione di una tratta tipo di 48 km fra due SSE. Supply schematic of typical 48 km section between two ESSs.

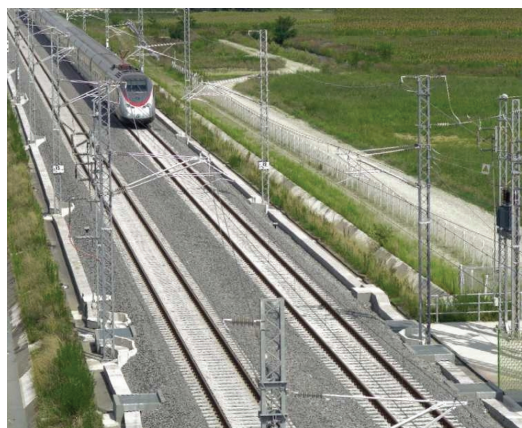


Fig. 1 - Impianti di trazione elettrica 25 kV della tratta Torino-Novara. 25 kV Electric traction systems in the Turin-Novara Section.

operated at speeds above 250 km/h, and especially selecting the 2 x 25 kV system, which has high performances with regard to both power demand and train headway.

The two most important advantages of this system with respect to the conventional 25 kV one are: a much higher line capacity with the same substation spacing and a reduced emission of interference with respect to the environment, to the subscriber lines and to the existing railway systems.

The overall criteria of the project and the preliminary project of the system were illustrated in an article [1], published in Ingegneria Ferroviaria in 1994.

2.1. Configuration and Characteristics of the System

For a double-track line, the 2 x 25 kV system requires two 25 kV feeders in phase opposition as well as two 25 kV contact lines. Every 10-15 km, in the so-called Double Parallel Post (DPP), two 1:2 autotransformers were installed with the end terminals connected respectively to the contact lines and the feeders, and the central terminal connected to the rail. In each DPP, a neutral section (NS), which can be resupplied via apposite disconnectors and switches, is installed between the two autotransformers. A NS is also installed at each substation (ESS).

In proximity to the interconnections with the traditional 3 kV rail network (POC), Single Parallel Posts are

Nel caso dell'alta velocità italiana le specifiche di base hanno imposto al sistema elettrico un elevato valore di potenzialità pari a circa 2 MW/km di linea. Di conseguenza la distanza tipo tra le sottostazioni è risultata dell'ordine di 48 km con il passo tipo tra i PPD pari a 12 km. Ciascuna SSE alimenta in antenna ai 2 lati, tramite un trasformatore della potenza di 60 MVA, una semitratta di 24 km, comprendente 2 celle di 12 km. In fig. 2 è rappresentato lo schema tipologico di alimentazione di una tratta compresa tra due sottostazioni. I trasformatori in ogni sottostazione sono due: normalmente uno solo è in servizio, l'altro è di riserva calda.

In base alle norme di esercizio risulta normalmente aperto solo il tratto neutro in posizione intermedia tra le due sottostazioni dove avviene il cambio fasi fra una semitratta e l'altra, mentre risultano chiusi gli altri tratti neutri intermedi in corrispondenza degli altri PPD. In corrispondenza della sottostazione il tratto neutro è gestito come un normale sezionamento, non essendo previsto il cambio fasi; l'alimentazione viene derivata da due interruttori di sottostazione diversi, al fine di garantire la separazione dell'intervento in caso di guasto fra la tratta a monte e la tratta a valle della sottostazione stessa.

installed (SPP), each equipped with a single autotransformer.

In the Italian high-speed system, the basic specifications impose a high value of potentiality, about 2 MW/km, of the electric system. As a consequence, the typical spacing between substations is 48 km and the typical spacing between DPPs is 12 km. Each ESS supplies two 24 km electric-sections, each one made up of two 12 km cells, through a 60 MVA transformer. Fig. 2 shows the typical supply schematic of a section between two substations. There are two transformers in each substation, but under normal conditions only one is in operation: the other is kept in an hot-standby state.

Due to service regulations, only the neutral section in an intermediate position between the two substations where the phase change occurs between one semi-section and the other, is normally open, while the other intermediate neutral sections at the other DPPs remain closed. The neutral section at each substation is managed as a normal section isolator, a change in phase not being required; the supply is obtained by two different substation switches, in order to guarantee the separation of the sec-

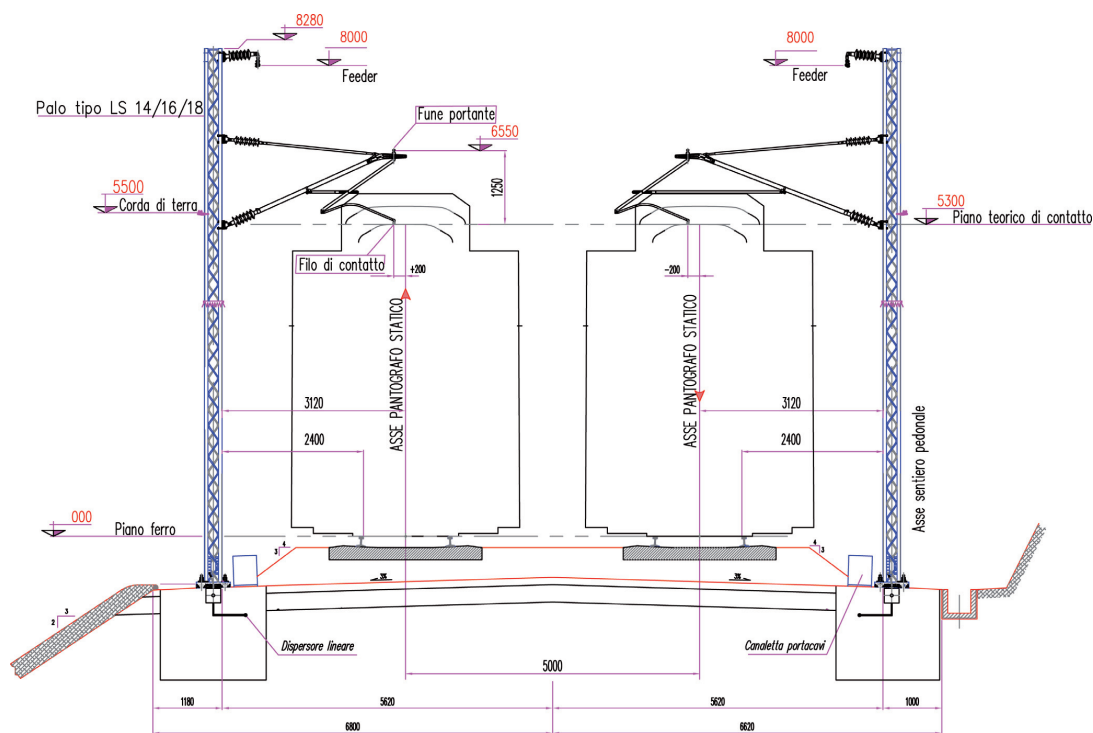


Fig. 3 – Sezione trasversale allo scoperto. *Outdoor Transverse section.*



Fig. 4 – Vista della linea di contatto in corrispondenza di un sezionamento TE. *View of catenary at an ET section isolator.*

L'alimentazione AT (Alta Tensione) avviene a 132 kV da nodi Terna a 380 kV tramite autotrasformatori da 250 MVA 380/132 kV e con elettrodotto dedicato a 132 kV che corre parallelamente alla linea ferroviaria e collega in entrata esiti tutte le sottostazioni, vedi successivo 3.1.

Il prelievo dell'energia da nodi a 380 kV ed il cambio fasi hanno lo scopo di limitare gli squilibri di tensione prodotti dai carichi monofasi sulla rete del fornitore di energia.

2.2. Sezioni tipo

In fig. 3 è rappresentata una sezione trasversale semplificata della linea allo scoperto con la rappresentazione di tutti i conduttori principali presenti. La linea di contatto è costituita da una corda portante di rame da 120 mm² ad un tiro nominale di 1600 daN ed un filo di contatto da 150 mm² ad un tiro nominale di 2000 daN. La scelta dei tiri è stata operata per il raggiungimento dei requisiti connessi alla qualità di captazione.

La quota del filo di contatto sul piano ferro è 5,3 m, come da specifica di interoperabilità, ed è previsto tra campata e campata un gradiente nullo. Il feeder è costituito da una corda di Al/Acciaio, con diametro nominale di 22.8 mm, conduttore utilizzato anche per gli elettrodotti AT della rete RFI.

Il feeder può essere posizionato rispetto alla linea di contatto in posizione esterna al binario o interna; il posi-

tion after the substation and the one before it for intervention in case of failure.

The 132 kV high-voltage supply is converted by 380 kV Terna National Electricity Grid nodes via 250 MVA 380/132 kV autotransformers; a 132 kV power line runs parallel to the railway line and links all substations via series connections (see paragraph 3.1).

Power supply from 380 kV nodes and the phase change have the aim of limiting monophasic-load-related voltage unbalance on the energy supply network.

2.2. A typical section

Fig. 3 shows a simplified transverse section of the open-air line representing all the principal conductors present. The catenary consists of a 120 mm² copper supply cable with a nominal tension of 1600 daN and a 150 mm² contact wire with a nominal tension of 2000 daN. The choice of tensions was made to fulfil requirements pertinent to quality of captation.

The height of the contact wire is 5.3 m, as per interoperability specifications, and a no gradient between spans was planned for: The feeder consists of an aluminium/steel cable, a conductor also used for the high-voltage power lines of the Italian Railway Network, of nominal diameter 22.8 mm.

The feeder may be located inside or outside the track with respect to the contact line; the internal position, as in-

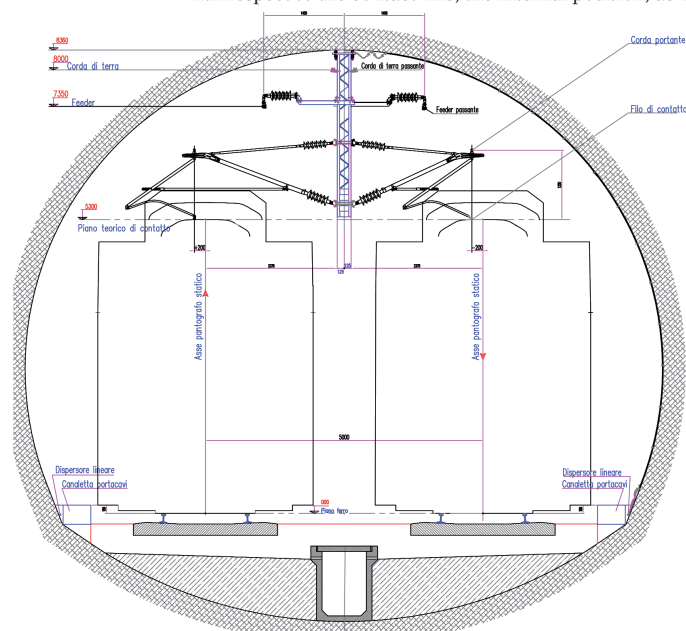


Fig. 5 – Sezione trasversale in galleria. *Tunnel transverse section.*

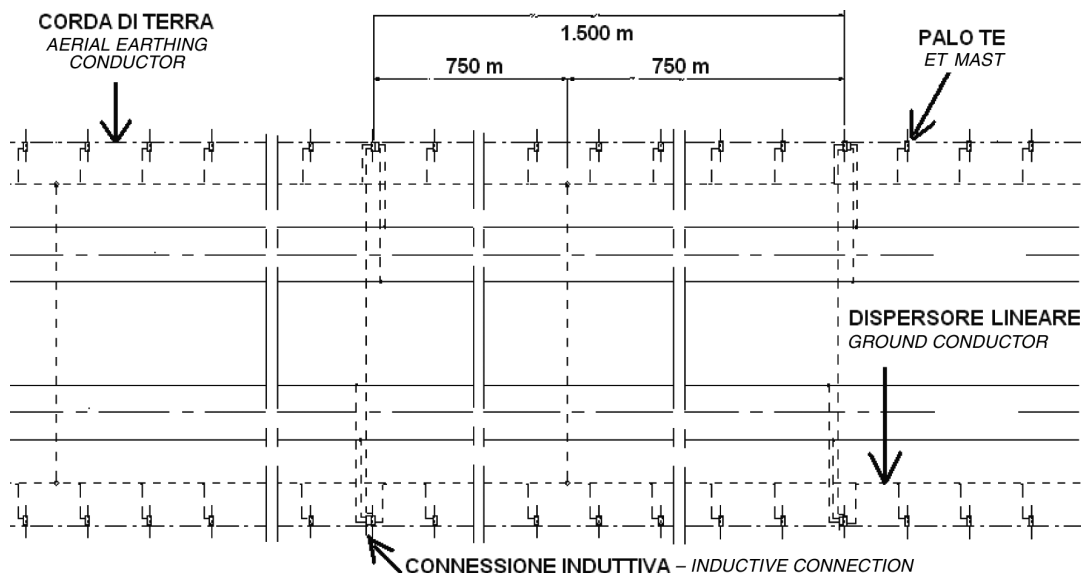


Fig. 6 – Schema tipo dell'impianto di terra. *Typical schematic of the earthing system.*

zionamento all'interno, come indicato in fig. 3, consente di evitare che la eventuale caduta dello stesso avvenga al di fuori della sede ferroviaria ed è pertanto sempre utilizzato in viadotto. Le sospensioni sono in alluminio con distanza filo fune pari a 1250 mm. In fig. 4 è rappresentata la foto della linea di contatto in una sezione corrispondente ad un tronco di sezionamento.

In fig. 5 è rappresentata la sezione tipo di galleria che utilizza la stessa tipologia di sospensioni sostenute da supporti penduli con uno sfalsamento di 3 m, in senso longitudinale, tra binario pari e dispari. Il feeder è posizionato a circa quota 7500 mm con uno sbraccio rispetto all'asse centrale della galleria, in modo da distanziarlo durante le operazioni di manutenzione dalla linea di contatto del binario adiacente.

In fig. 6 è riportato lo schema tipo dell'impianto di terra la cui applicazione si è rilevata fondamentale nel rispetto della norma europea CEI EN 50122-1 [3] relativa ai provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra. Il circuito di terra infatti, oltre a prevedere una corda aerea di collegamento tra i pali, presenta un dispersore lineare interrato continuo a cui sono collegati tutti i pali e le masse metalliche in zona di rispetto TE. Tale dispersore che costituisce la vera novità rispetto ai tradizionali picchetti per ogni palo del 3 kV, riduce fortemente in caso di guasto le tensioni di contatto e di passo accessibili per le persone ed è fondamentale anche nelle tratte in galleria, come riscontrato recentemente, nelle prove in corso sulla Bologna-Firenze.

Ogni 750 m esiste un collegamento tra il circuito di

dicato in fig. 3, prevents it from falling outside the track bed, and is thus always used in viaducts. The cantilevers are in aluminium with a distance to the contact point of 1250 mm. Fig. 4 is a photograph of the contact line in a transverse section corresponding to a sectioning section.

Fig. 5 depicts a typical tunnel section which exploits the same type of cantilever, held up by pendular supports with a longitudinal staggering of 3 m between up line and down line. The feeder is located at an approximate height of 7500 mm, and is separated from the central axis of the tunnel in order to distance it during maintenance of the catenary of the adjacent track.

Fig. 6 shows a typical schematic of the earthing system, whose application was found to be fundamental in adhering to European regulations (CEI EN 50122-1) [3] regarding the provision of protection concerning electrical safety and earthing. Indeed, the earthing circuit, as well as containing an aerial connection cable between masts, features a continuous buried linear ground conductor to which all masts and metallic structures in the vicinity of the ET system, are connected. This ground conductor, which represents a real innovation with respect to the conventional 3 kV stakes at each mast, greatly reduces the step and touch voltages accessible to people in case failure occurs, and is fundamental also in the tunnel sections, as confirmed recently in tests carried out on the Bologna-Florence line.

Every 750 m there is a connection between the up line and down line earthing circuits, and every 1500 m the connection also includes the rails (via inductive connections).

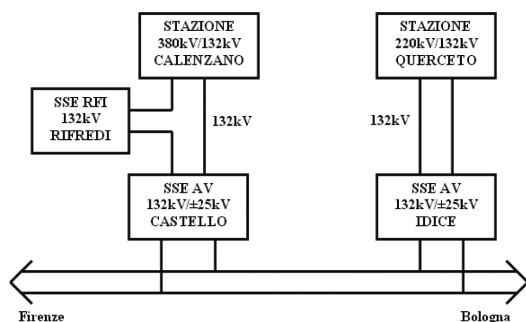


Fig. 7 – Linea Bologna-Firenze: architettura AT. Bologna-Florence line: high-voltage architecture.

terra pari e quello dispari, ogni 1500 m il collegamento comprende anche i binari (tramite connessioni induttive).

Allo scoperto, la corda di terra aerea collega tutti i pali e corre all'altezza della linea di contatto. In galleria, la corda di terra collega tutti i supporti penduli.

La corda di terra aerea ha anche l'importante funzione di contribuire alla conduzione della corrente di ritorno, riducendone la quota che si disperde nel terreno e di conseguenza diminuendo l'emissione d'interferenze induttive.

3. L'evoluzione del progetto TE per le linee AV

Rispetto al progetto della prima tratta AV Roma-Napoli, già a partire dalla linea Milano-Bologna, sono state individuate e sviluppate alcune soluzioni innovative che, come di seguito illustrato, riguardano sia l'architettura del sistema di alimentazione sia alcune parti di impianto con l'adozione di nuove apparecchiature o materiali.

Tali innovazioni sono in linea con l'evoluzione delle prescrizioni normative europee e con l'esigenza di ridurre i costi di impianto e migliorare l'esercizio.

3.1. Architettura AT (Alta Tensione) della Bologna-Firenze

Il progetto originario tipologico del sistema a 25 kV prevedeva un'alimentazione con elettrodotto a 132 kV dedicato in entra-esce su tutte le sottostazioni, alimentato da nodi a 380 kV della rete nazionale. Tale soluzione, che presenta il vantaggio di elevata flessibilità di esercizio delle linee AT e della maggiore affidabilità in caso di fuori servizio di un tratto di linea a 132 kV o di uno dei nodi a 380 kV, può presentare delle ricadute di impatto territoriali rilevanti connesse all'estensione dei nuovi elettrodotti da realizzare. Un primo caso di modifica allo schema tipico è rappresentato dall'architettura del sistema di alimentazione della Bologna-Firenze, la cui attivazione è prevista entro il 2009. Infatti per tale linea, che presenta più del 90% di tracciato in galleria in

In the open, the aerial earthing conductor connects all masts and runs at the same height as the contact wire. In tunnels, the earthing conductor connects all pendular supports.

The aerial earthing conductor also has the important function of contributing to the conduction of return current, reducing the amount of current leakage into the earth and therefore reducing the emission of inductive interference.

3. Evolution of the ET Project for High-Speed Lines

With respect to the plan for the first high-speed line, Rome-Naples, the Milan-Bologna line already featured several innovative solutions, i.e. the adoption of new equipment and materials, which, as illustrated below, concerned both the architecture of the supply system and other parts of the system.

These innovations are in line with European regulations and also with the need to reduce system costs and improve its function.

3.1. High-voltage (HV) Architecture of the Bologna-Florence Line

The original design of the 25 kV system included supply via a 132 kV power transmission line, supplied by 380 kV nodes of the national network, with series connections at all substations. This solution, which is advantageous in that it permits high functional flexibility of the high-voltage lines and greater reliability in case of failure of one section of the 132 kV line or of one of the 380 kV primary station, can, however, have a large environmental impact as regards the extension or setting up of new power lines. An initial modification to the schematic therefore involved the architecture of the supply system of the Bologna-Florence line, whose activation is expected within 2009. In fact, for this line, 90% of which is in tunnels in mountainous territory, realisation of a power line between the Castello and Idice substations would have been extremely problematic, both from a construction perspective and from an environmental point of view in previously unspoiled areas.

The basic architecture was therefore revised, as reported in fig. 7, to include point-to-point supply of the two substations, whose position was obligatory, due both to the availability of supply sources, and to the presence of the tunnels. However, with such a high-voltage schematic, it was necessary to verify the presence of suitable levels of reliability in the 132 kV network and in the 25 kV traction system.

The plan included:

1. 132 kV supply of the Castello substation via two 132

territorio montagnoso, la realizzazione di un elettrodotto dedicato fra le 2 sottostazioni di Castello ed Idice avrebbe presentato serie criticità sia realizzative sia d'impatto ambientale in aree non interessate dall'infrastruttura ferroviaria.

L'architettura di base è stata pertanto rivista prevedendo, come riportato in fig. 7, l'alimentazione punto-punto delle due sottostazioni la cui posizione è obbligata sia dalla disponibilità delle fonti di alimentazione, sia dalla presenza delle gallerie. Con tale schema AT è necessario però verificare di avere idonei livelli di affidabilità sia lato rete 132 kV sia lato sistema di trazione 25 kV.

Il progetto prevede:

1. alimentazione a 132 kV della sottostazione di Castello tramite 2 linee in cavo a 132 kV provenienti da 2 fonti diverse, quali la Stazione Terna a 380 kV di Calenzano e la Sottostazione RFI di Rifredi come soccorso.
2. alimentazione a 132 kV della sottostazione di Idice dalla Stazione a 220 kV Terna di San Benedetto a Querceto con 2 possibili fonti di alimentazione separate, di cui una di riserva da rete ENEL distribuzione.

Il sistema di trazione a 25 kV è stato verificato tramite programmi di simulazione (vedi successivo 3.2) al fine di garantire l'esercizio ferroviario anche in caso di fuori servizio di una delle due sottostazioni. Nel caso di fuori servizio totale della sottostazione di Idice, peraltro raro in quanto sono presenti 2 fonti AT, è necessario però limitare il cadenzamento dei treni da 5 minuti a 7,5 minuti. Le simulazioni sono state eseguite con treni ETR 500 nella composizione massima.

E' stata inoltre prevista una ulteriore alimentazione di riserva di potenza ridotta per la tratta compresa fra il POC (Posto di Confine 3kV/25kV) lato Bologna e la sottostazione di Idice, come rappresentato in fig. 9.

Infatti, questa tratta terminale della linea di contatto, alimentata in antenna, presenta gallerie di lunghezza significativa. Pertanto, pur in presenza di sezionamenti, in caso di guasto pari-dispari della linea di contatto lato SSE, non sarebbe possibile la movimentazione e l'alimentazione dei servizi ausiliari di bordo dei treni fermi in galleria e non interessati dal guasto stesso.

E' stata quindi realizzata l'alimentazione di soccorso tramite l'impiego di 2 trasformatori monofase 15/25 kV, alimentati dalla rete ENEL a 15 kV.

3.2. Milano-Verona: architettura AT della linea AV/AC Treviglio-Verona

L'applicazione dello schema punto-punto senza elettrodotto di collegamento tra le sottostazioni, è stata attuata



Fig. 8 – Nuova SSE di Idice con reparti AT ed MT blindati. *New Idice substation with high-voltage and medium-voltage metal clad compartments.*

kV cable lines from 2 different sources, namely the Terna National Electrical Grid station of 380 kV at Calenzano and the Italian Railway Network substation at Rifredi as backup;

2. 132 kV supply of the Idice substation via the Terna National Electrical Grid station of 220 kV at San Benedetto in Querceto, with 2 separate potential supply sources, of which one was a reserve supply from the ENEL (National provider for Electric Energy) distribution grid.

The 25 kV traction system was verified by simulation programmes (see paragraph 3.2) in order to guarantee railway operation even upon failure of one out of the two substations. In the case of Idice substation failure, considered highly improbable as 2 high-voltage sources are present, it would be necessary to increase the train headway from 5 minutes to 7.5 minutes. The simulations were carried out using maximum composition ETR 500 trains.

Furthermore, an ulterior reserve supply of reduced power for the section between the Bologna side POC (3kV/25kV connection) and the Idice substation was planned, as shown in fig. 9.

Indeed, this terminal section of the contact wire, fed by the sole Florence side of the 2x25 kV system, features tunnels of a significant length. Thus, although in pres-

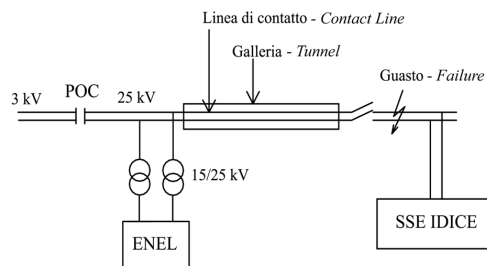


Fig. 9 – Alimentazione di riserva, in caso di guasto. *Reserve supply: in case of failure.*

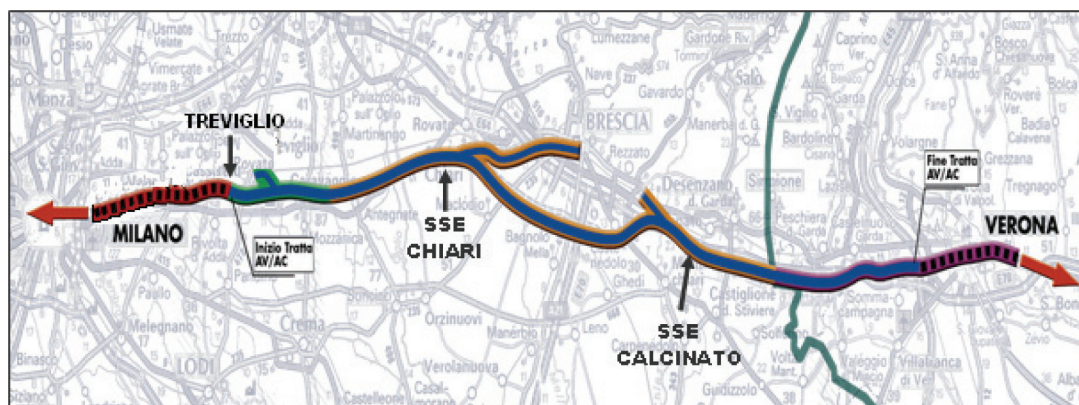


Fig. 10 – Linea Treviglio-Verona: posizionamento finale SSE AV. *Treviglio-Verona line: final position of high-speed ESS.*

anche nel recente progetto di elettrificazione della linea AV/AC Treviglio-Verona, modificando il progetto preliminare in funzione delle condizioni territoriali, per limitare al massimo l'impatto sul territorio fortemente urbanizzato nell'area di Brescia. Rispetto alla Bologna - Firenze il tratto a 25 kV alimentato è più esteso: circa 105 km; il sistema è stato dimensionato per l'alimentazione da due sole sottostazioni, nelle località di Chiari e di Calcinato (fig. 10), come risultato di un'analisi comparativa illustrata nel seguito.

Le fonti disponibili a 380 kV sono state individuate nei nodi Terna di Chiari e Lonato. Per i relativi allacciamenti è stato previsto un collegamento in doppia terna su semplice palificata al fine di realizzare un sistema di alimentazione AT di ridotto impatto ambientale e di minor costo (fig. 11).

Poichè con tale architettura il sistema risulta meno affidabile, si è rivelato fondamentale effettuare, tramite programmi di simulazione dedicati, un'analisi approfondita del posizionamento delle 2 SSE, al fine di garantire la piena potenzialità anche nel caso di un fuori servizio totale di una delle due, nel rispetto dei valori di tensione minima al pantografo stabiliti dalla norma CEI EN 50163 [2].

Tramite il programma *Mara* di Italferr, in funzione delle caratteristiche del tracciato e della curva di trazione dei treni AV ETR 500, sono state effettuate le simulazioni di marcia sulla tratta Treviglio-Verona, estese per completezza al tratto da Treviglio a Milano già in esercizio ed alimentato a 3 kV. Nelle figg. 12 e 13 sono riportati l'andamento delle velocità in funzione dello spazio per il senso pari e dispari; nelle figg. 14 e 15 sono riportati i corrispondenti valori di assorbimento dei treni: si può notare che per lunghi tratti l'ETR 500 assorbe la massima potenza prossima agli 11 MW.

Sulla base delle simulazioni di marcia sono state, quindi, effettuate, mediante il programma *Simona* di Italferr [8], le simulazioni del sistema di trazione elettrica nel funzionamento a regime con cadenzamento dei treni a 5 minuti.

ence of sectionings, in case of up line and down line failure of contact wire on the ESS side, both train running and supply of the auxiliary on-board services of the trains stopped in tunnels and not affected by the failure itself, would not be possible.

Thus a back-up supply was created via the use of two 15/25 kV single-phase transformers, fed by the ENEL grid at 15 kV.

3.2. Milan-Verona: High-Voltage Architecture of the High-Speed/High-Capacity Treviglio-Verona line

Application of the point-to-point schematic without a connecting power line between the substations was also put into practice in the recent electrification design of the high-speed/high-capacity Treviglio-Verona line, modifying the initial plan, due to the territorial conditions, in order to limit the impact on the urban area around Brescia. With respect to the Bologna-Florence line, the section

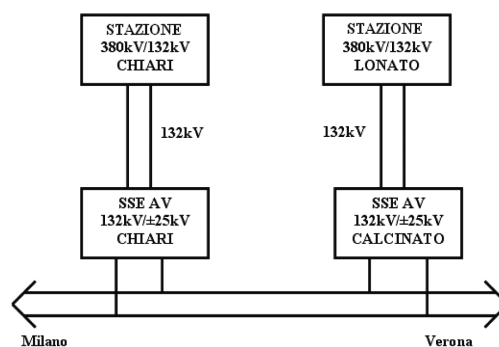


Fig. 11 – Linea Treviglio-Verona: architettura AT. *Treviglio-Verona line: high-voltage architecture.*



Fig. 12 – Andamento della velocità di marcia, binario dispari. *Change in transit speed: down line.*



Fig. 13 – Andamento della velocità di marcia, binario pari. *Change in transit speed: up line.*



Fig. 14 – Andamento della potenza assorbita dal treno, binario dispari. *Change in power absorbed by train: down line.*



Fig. 15 – Andamento della potenza assorbita dal treno, binario pari. *Change in power absorbed by train: up line.*

Per definire l'architettura di progetto sono state analizzate 3 diverse configurazioni.

Il sistema di alimentazione inizialmente ipotizzato era quello di configurazione n° 1 riportato nella fig. 16, che prevede la realizzazione di 2 SSE ad una distanza di 49 km, secondo lo standard applicato nelle tratte AV già in esercizio.

Circa ogni 12 km, come da schema tipologico, erano previsti i posti di parallelo doppio (PPD); i posti terminali di parallelo semplice (PPS), che hanno un solo autotrasformatore, sono stati ipotizzati ad una distanza inferiore in funzione della posizione dei POC (Posti di confine 25 kV - 3 kV).

Nella configurazione n° 2, riportata in fig. 17, mante-

supplied at 25 kV is more extensive: about 105 km; the size of the system was planned for supply from two single substations, one in the vicinity of Chiari and the other near Calcinato (fig. 10), as resulted from a comparative analysis outlined below.

The available 380 kV sources were identified as the Terna nodes at Chiari and Lonato. These were connected via a simple mast double circuit connection in order to provide a high-voltage supply system with reduced environmental impact and minimal cost (fig. 11).

As the system was found to be less reliable with this architecture, it was necessary to carry out a detailed analysis of the positioning of the two ESS via simulation programmes in order to guarantee the full potentiality

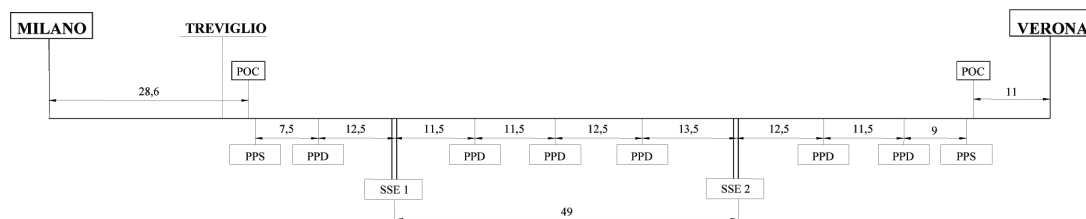


Fig. 16 – Configurazione n° 1. *Configuration n° 1.*

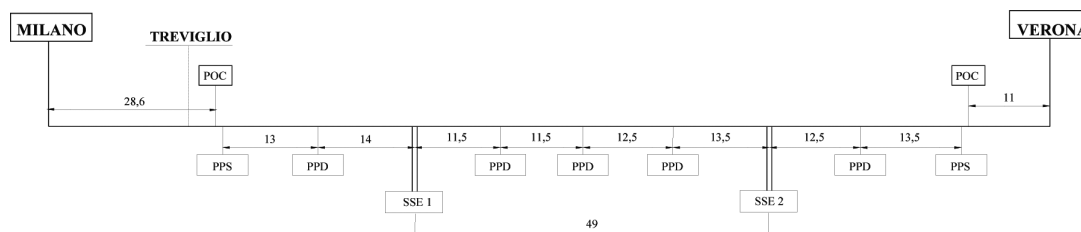


Fig. 17 – Configurazione n° 2. Configuration n° 2.

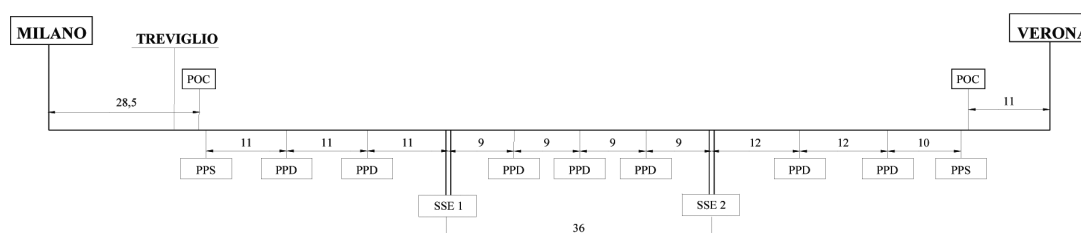


Fig. 18 – Configurazione n° 3. Configuration n° 3.

nendo la stessa distanza reciproca fra le sottostazioni, è stato effettuato un riposizionamento delle stesse al fine di bilanciare l'antenna di alimentazione a sbalzo tra la SSE ed il POC equilibrando meglio le distanze fra i PPD.

La configurazione n° 3, riportata in fig. 18, prevede, invece, una riduzione significativa della distanza fra le 2 sottostazioni, pari a circa 36 km, ed una diversa distribuzione dei posti di parallelo. Tale configurazione è stata studiata in particolare per tener conto dell'assetto del sistema in condizioni di fuori servizio di una delle SSE, assetto che, come detto, per la Treviglio-Verona risulta altamente critico, considerando che una sola sottostazione deve alimentare tratti di linea di contatto di lunghezza rilevante.

I risultati delle simulazioni del sistema di alimentazione, per le condizioni di traffico di ETR 500 a 5 minuti, in condizioni di assetto normale con tutte le SSE ed i PPD in servizio, evidenziano buoni livelli di tensione al pantografo per tutte e tre le configurazioni analizzate. Il rendimento della linea di contatto è ottimo essendo superiore al 99%.

Ai fini della scelta della migliore configurazione la condizione discriminante risulta però la verifica prestazionale del sistema in condizioni di primo degrado, ovvero di fuori servizio di una delle due sottostazioni, tanto più importante per la tratta Treviglio-Verona in base alle considerazioni fatte in precedenza, relativamente all'architettura AT. Pertanto sono state ripetute le simulazioni nel caso delle tre diverse configurazioni ipotizzate, prevedendo alternativamente il fuori servizio di una delle due Sottostazioni. I risultati di tali simulazioni sono sinteticamente riportati nella tabella 1.

even in case a total service failure should occur in one of them, while respecting the minimum pantograph voltage values established by CEI EN 50163 regulation [2].

Due to the characteristics of the line and the traction curves of the high-speed ETR 500 trains, Italferr's *Mara* programme was chosen to perform transit simulations on the Treviglio-Verona section, which was extended, in the interests of thoroughness, to the already active section from the Treviglio to Milan supplied at 3 kV d.c.. In fig. 12 and 13, change in speed over distance for up line and down line are shown; in fig. 14 and 15, the corresponding power demand values of the trains are reported: it can be noted that the ETR 500 requires the maximum power, close to 11 MW, for long sections.

Based on these transit simulations, simulations of the electric traction system in operation at functional speed with a train headway of 5 minutes were performed using the Italferr's *Simona* programme [8].

In order to define the architecture of the project, 3 different configurations were analysed.

The initially hypothesised supply system was as per configuration n° 1, reported in fig. 16, which includes 2 ESSs separated by a distance of 49 km, according to the standard applied in the high-speed sections already in operation.

Roughly every 12 km, as per the typical schematic, double parallel posts (DPP) were planned; the end Single Parallel posts (SPP), each one equipped with a single autotransformer, were hypothesised at a smaller distance in function of the position of the POCs (25 kV-3 kV connections).

TABELLA 1

CADENZAMENTO MASSIMO CON UNA SSE FUORI SERVIZIO – VEHICLE HEADWAY WITH ONE ESS OUT OF ORDER

Architettura <i>Architecture</i>	SSE fuori servizio <i>ESS out of order</i>	Cadenzamento massimo <i>Vehicle headway</i>
Configurazione 1 <i>Configuration 1</i>	SSE 1	5 minuti
	ESS 1	5 minutes
	SSE 2	10 minuti
Configurazione 2 <i>Configuration 2</i>	ESS 2	10 minutes
	SSE 1	5 minuti
	ESS 1	5 minutes
Configurazione 3 <i>Configuration 3</i>	SSE 2	7 minuti
	ESS 2	7 minutes
	SSE 1	5 minuti
Configurazione 3 <i>Configuration 3</i>	ESS 1	5 minutes
	SSE 2	5 minuti
	ESS 2	5 minutes

Si noti come le configurazioni 1 e 2, che hanno un passo fra le SSE maggiore, non riescono a garantire la piena potenzialità nel caso di fuori servizio, poiché presentano una alimentazione a sbalzo di oltre 80 km in un caso e 70 km nell'altro. Solo la configurazione numero 3, con una distanza ridotta tra le due SSE, consente un cadenzamento di 5 minuti con la tensione minima nei limiti di norma anche per fuori servizio totale di una delle due SSE.

La configurazione numero 2 comporterebbe invece una limitazione del cadenzamento a 7 minuti.

In conclusione quindi, sulla base dei risultati delle simulazioni, dopo una verifica sul territorio del tracciato possibile delle bretelle di alimentazione, è stato individuato il posizionamento ottimale delle SSE e scelta la configurazione numero 3 come architettura finale di progetto.

Le verifiche effettuate per la linea Treviglio-Verona costituiscono un esempio di validazione del sistema di alimentazione secondo le metodologie delle norme CENELEC; tali verifiche sono alla base della certificazione di conformità CE e di rispondenza alla normativa europea sulla interoperabilità.

3.3. Evoluzione dei tratti neutri

Come riportato nella fig. 2, il sistema 2 x 25 kV prevede la realizzazione di tratti neutri, ovvero di tratti della linea di contatto con un sezionamento idoneo a garantire l'alimentazione a monte e a valle con tensioni di fasi diverse e nel contempo atto a consentire il passaggio del treno con i pantografi alzati e assorbimento nullo. Il tratto neutro originario tipo Roma-Napoli prevede un solo tratto di conduttura fuori tensione e due zone di sovrapposizione, schematicamente rappresentato in fig. 19.

Tale schema, nato in base ai riferimenti normativi di allora, seppur semplice, presenta degli specifici vincoli nel caso di 2 pantografi consecutivi in presa: la distanza fra gli stessi deve essere maggiore di 150 m, altrimenti i pan-

In configurazione n° 2, depicted in fig. 17, maintaining the same reciprocal distance between the substations, these were re-positioned in order to balance the supply antenna between the ESS and the POC, thus evening out the distances between DPPs.

Configuration n° 3, shown in fig. 18, on the other hand, is characterised by a significant reduction of the distance between the 2 substations, about 36 km, and a different distribution of the parallel posts. This configuration was developed particularly to take into account the system architecture with one of the ESS off line, an architecture which, as previously mentioned, is highly critical in the Treviglio-Verona section, where one substation must supply long sections of contact wire.

The results of the supply system simulations, for the transit conditions of the ETR 500 at vehicle headway of 5 minutes under conditions of normal traction network architecture and all ESSs and DPPs in operation, show good levels of voltage at the pantograph for all three configurations analysed. The yield of the contact wire was excellent at over 99%. With the aim of choosing the best configuration, the most important verification to do is, however, the verification of the system performance when one of the two substations is out of order, a critical situation for the Treviglio-Verona section due to the previously mentioned considerations regarding the high-voltage architecture. Thus the simulations were repeated for each of the three hypothesized configurations, first with one substation out of order and then with the other one. The results of these simulations are summarised in table 1.

It can be seen that full potentiality cannot be guaranteed if one of the substations is out of order in configurations 1 and 2, which have a greater distance between ESSs, as they present a single supply section of 80 km in one case and 70 km in the other. Only configuration number 3, with a reduced distance between the two ESSs, permits a train headway of 5 minutes with minimal voltage in the normal range if one of the two ESSs is totally off line.

Configuration 2, in contrast, is limited by the necessity of a 7-minute train headway under these conditions.

In conclusion therefore, based on the results of the simulation and verification of the possible paths of the supply connections, the optimal position of the ESS was identified and configuration number 3 was chosen as the definitive architecture of the project.

The verifications carried out on the Treviglio-Verona line constitute an example of validation of the supply system according to CENELEC regulations; these regulations are the basis of CE conformity certification and adherence to European regulations on interoperability.

3.3. Neutral section Evolution

As reported in fig. 2, the 2 x 25 kV system includes several neutral sections, i.e. sections of the contact wire with

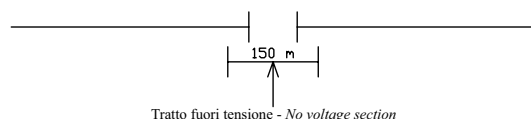


Fig. 19 – Schema di tratto neutro semplice. *Schematic of Simple Neutral Section.*

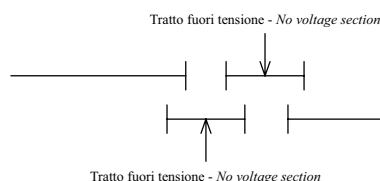


Fig. 20 – Schema della nuova tipologia di tratto neutro. *Schematic of the new type of neutral section.*

tografi alzati, anche se non elettricamente collegati, determinerebbero un corto circuito fase-fase in linea.

Per le altre linee AV/AC, è stata sviluppata una nuova tipologia di tratto neutro con 2 tratti di conduttura fuori tensione e 3 zone di sovrapposizione, come da fig. 20. Tale soluzione, che comporta una maggiore complessità di impianto, elimina il vincolo sui 2 pantografi consecutivi in presa in quanto è sempre interposta una zona di separazione.

Nella fig. 21 è riportata più in dettaglio la vista in pianta e sono inoltre poste in evidenza le apparecchiature che realizzano l'apertura e la chiusura del tratto neutro: un gruppo bipolare (fig. 22), costituito da un sezionatore, un interruttore SF₆ ed un sezionatore, ed un sezionatore bipolare.

La suddetta costituzione del gruppo bipolare risponde alla seguente triplice esigenza: interruttore per aprire la corrente di carico, sezionatore per avere indicazione visiva dell'apertura dei contatti, doppio sezionatore per la manutenzione dell'interruttore in SF₆.

Nella Bologna-Firenze è stata operata un'ulteriore innovazione relativa al gruppo bipolare. In un'ottica di riduzione dei costi e di semplificazione di impianto è stata individuata in sostituzione un'unica apparecchiatura: si tratta di un sezionatore sottocarico dotato di ampolla sottovuoto dove si attua l'interruzione delle correnti di carico (fig. 23).

Il nuovo sezionatore sottocarico, che fornisce anche l'indicazione visiva del sezionamento ed ha ridotte esigenze di manutenzione, verrà impiegato nella Bologna-Firenze anche nei sezionamenti di galleria al posto dei sezionatori rotativi manovrabili a vuoto

a sectioning area sufficient to guarantee the voltage supply at different phases at the two end of the sectioning, and at the same time to allow the transit of trains with pantographs raised and nil power absorption. The original neutral section on the Rome-Naples line involved only one no voltage section and two overlapping zones, schematically represented in fig. 19.

This schematic, although simple, was conceived to respect the regulations of the time; however it is subject to specific constraints as regards 2 consecutive pantographs in contact: the distance between them must be greater than 150 m, otherwise the raised pantographs, even if not electrically connected, would cause a phase to phase short circuit.

For the other high-speed/high-capacity lines, a new type of neutral section was developed featuring 2 neutral sections and 3 overlapping zones, as per fig. 20. This solution, which increases the complexity of the system, eliminates the constraints regarding the presence of 2 consecutive pantographs in contact as a separation zone is always between them.

In fig. 21, a detailed plan of the neutral section is depicted, highlighting the devices responsible for its opening and closing: a bipolar group (fig. 22), made up of a disconnector, an SF₆ circuit breaker, and a disconnector, and a bipolar disconnector.

The above mentioned constitution of the bipolar group fulfils the following three requirements: a circuit breaker to open the load current, a disconnector to furnish visual evidence of the opening of the contacts, and a double disconnector for maintenance of the in SF₆ circuit breaker.

The Bologna-Florence section will feature a further innovation in the bipolar group: in order to reduce costs and simplify the system, a switch disconnector equipped with a vacuum ampoule where interruption of the load current occurs will be introduced (fig. 23).

This new switch disconnector, which also gives a visual indication of the insulation section and has reduced

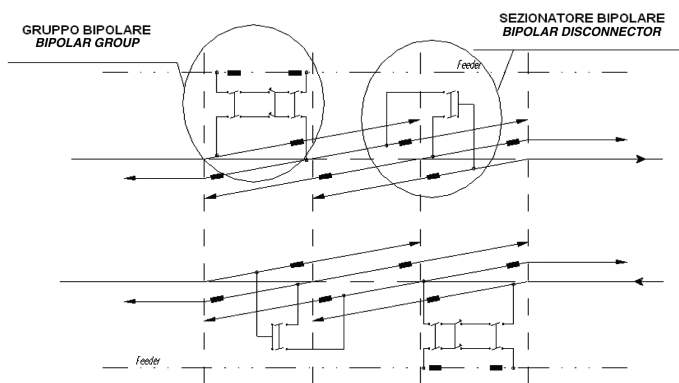


Fig. 21 – Disposizione planimetrica delle condutture nel tratto neutro. *Plan showing the position of conductors in the neutral section.*



Fig. 22 – Gruppo sezionatore - interruttore SF₆ – sezionatore.
Disconnector- SF₆ circuit breaker - disconnector Group.

originariamente previsti. Infatti in tal modo sarà possibile operare la disalimentazione della linea di contatto di galleria, in maniera semplificata dal DOTE (Dirigente Operativo Trazione Elettrica), senza ricorrere all'apertura degli interruttori di sottostazione.

Relativamente ai tratti neutri di nuova configurazione, in particolare sulla Milano-Bologna ove sono presenti tratti neutri in corrispondenza di curve con raggio 4500 m, sono state necessarie delle verifiche puntuali del rispetto dei limiti relativi allo sbandamento laterale del filo di contatto sotto spinta del vento, come prescritto dalle specifiche di interoperabilità [6].

In funzione della velocità del vento, infatti, deve essere verificato che lo sbandamento risulti all'interno del massimo valore consentito dalla norma che è pari al più piccolo dei seguenti valori:

$$0,4 \text{ m oppure } (1,4 - L_2) \text{ m}$$

ove L_2 rappresenta la metà della larghezza dell'involuppo dinamico dovuto al passaggio di un pantografo europeo standard, e va calcolata secondo la norma EN 50367 [5]. Per le tratte AV/AC italiane L_2 risulta pari a 1,06 m in base alla formula:

$$L_2 = 0.74 + 0.04 \times H + 0.15 \times H \times C - 0.075 \times C + \frac{2,5}{R}$$

Nella quale:

H (m) indica la somma dell'altezza nominale del filo di contatto e del sollevamento massimo del pantografo;

C (m) indica la sopraelevazione del binario;

R (m) indica il raggio della curva.

Applicando la formula precedente risulta che il limite di sbandamento laterale da rispettare in curva è pari a 34 cm.

Nelle campate di sovrapposizione del tratto neutro in

the demand for maintenance, will be employed in the Bologna-Florence line, even for sectionings in tunnels, and will replace the no-load disconnectors originally planned. Indeed, the contact wire supply in tunnels can be in this way simply disconnected by DOTE (Electric Traction Operating Manager), without having to open the substation circuit breakers.

Regarding the neutral sections of the new configuration, precise verification of adherence to the limits related to the lateral displacement of the contact wire in windy conditions were necessary, as prescribed by the interoperability specifications [6], in particular on the Milan-Bologna line where neutral sections occur at curves with a 4500 m curve radius.

Concerning wind speed, in fact, it must be verified that the displacement occurs within the maximum values permitted by regulations which is equal to the lowest of the following values:

$$0.4 \text{ m or } (1.4 - L_2) \text{ m}$$

where L_2 is half of the size of the dynamic envelope due to the transit of a standard European pantograph, and should be calculated according to EN 50367 standards [5]. For the Italian high-speed/high-capacity line sections, L_2 is equal to 1.06 m, according to the formula:

$$L_2 = 0.74 + 0.04 \times H + 0.15 \times H \times C - 0.075 \times C + \frac{2,5}{R}$$

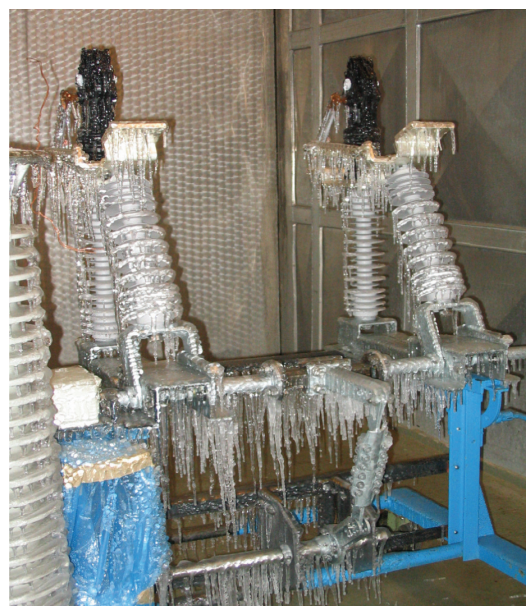


Fig. 23 – Sezionatore sottocarico durante la prova di funzionamento in severe condizioni di ghiaccio. Functional tests of the switch disconnector under severe icy conditions.

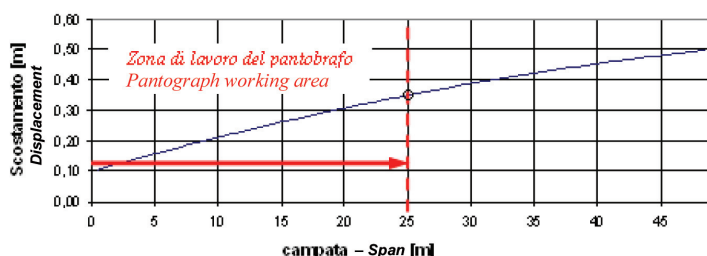


Fig. 24 – Sbandamento laterale della linea di contatto nei TN. *Lateral displacement of the contact wire in NSs.*

curva della Milano-Bologna, di lunghezza pari a 49 m, considerando una velocità del vento di 100 km/h, l'andamento calcolato del valore dello sbandamento in funzione della distanza dall'asse della sospensione, che tiene conto dell'effetto combinato del vento e della poligonazione esterna alla curva (+10, +50 cm), è riportato in fig. 24.

In pratica fino a 25 m dall'asse della sospensione, punto limite di lavoro del pantografo a partire dal quale la condotta diventa inattiva per effetto del sollevamento verso l'ormeggio, lo sbandamento massimo calcolato risulta prossimo al limite ammissibile di 34 cm. Risulta pertanto fondamentale in tali tratti verificare il rispetto della poligonazione di progetto.

3.4. Impiego filo-conduttore Cu-Mg

Allo scopo di verificare i miglioramenti ottenibili sulla qualità di captazione grazie all'impiego di nuovi materiali di recente diffusione, nella linea Novara-Milano sono state realizzate tre tratte di regolazione automatica (RA) con l'impiego di filo di contatto di tipo innovativo.

Si tratta di filo in Cu-Mg 0,2 che presenta proprietà meccaniche superiori rispetto al filo tradizionale in rame: il carico di rottura passa dai 52000 N ai 61100 N.

Sulla base di quanto previsto dalla norma EN 50119 [4] il tiro massimo ammissibile, assumendo cautelativamente un consumo del 20% della sezione, risulta pari a:

$$T_{max} = T_{rott} \times 0.65 \times k_{temp} \times k_{wear} \times k_{load} \times k_{eff} \times k_{clamp} \times k_{joint} = 30183 \text{ N}$$

dove:

T_{rott} = carico di rottura;

k_{temp} = 1 con temperature massime di 80 °C per Cu-Mg;

k_{wear} = 0.8 per consumo filo;

k_{load} = 0.95 per condizione di vento e ghiaccio;

k_{eff} = 1 con dispositivo di tensionatura con efficienza > 0,95;

k_{clamp} = 1 con materiali di amarro con rottura > 95% della rottura del filo;

k_{joint} = 1 con filo senza giunzioni saldate.

Si è pertanto assunto per le tre tratte di RA con filo in

in which:

H (m) indicates the sum of the nominal height of the contact wire and the maximum elevation of the pantograph

C (m) indicates the elevation of the rail

R (m) indicates the radius of the curve

By applying the above formula, it was found that the limit of lateral displacement in respect to curves is equal to 34 cm.

In the overlapping spans of the on-curve neutral section of Milan-Bologna line, of length 49 m, considering a wind speed of 100 km/h, the calculated change in the displacement value in function of the distance from the cantilever, which takes into account the combined effect of the wind and the external traversing in curve (+10, +50 cm), is reported in fig. 24.

In practice, up to the active limit of the pantograph, 25 m from the cantilever, after which the conduction becomes inactive due to the effect of lifting towards the mooring, the maximum displacement calculated was close to the permissible limit of 34 cm. Thus it is vital to verify the abidance of the traversing of the project.

3.4. Use of Cu-Mg Conductor Wire

With the aim of verifying the potential improvements in the quality of captation obtained by the use of new materials, three automatically regulated (AR) sections have been installed on the Novara-Milan line, with the use of an innovative type of contact wire.

This wire, made of 0.2 Cu-Mg possesses superior mechanical properties with respect to conventional copper wire: the tensile strength is increased from 52000 N to 61100 N.

As dictated by EN 50119 [4], the maximum permissible tension, assuming as a precautionary measure a 20% wear of the conductor section, is equal to:

$$T_{max} = T_{break} \times 0.65 \times k_{temp} \times k_{wear} \times k_{load} \times k_{eff} \times k_{clamp} \times k_{joint} = 30183 \text{ N}$$

where:

T_{break} = ultimate tensile stress;

k_{temp} = 1 with maximum temperature of 80 °C for Cu-Mg;

k_{wear} = 0.8 for wire wear;

k_{load} = 0.95 for conditions of wind and ice;

k_{eff} = 1 with tensioning device with an efficiency > 0.95;

k_{clamp} = 1 with strain clamp having ultimate tensile stress > 95% of the wire ultimate tensile stress;

k_{joint} = 1 with wire without welded joints.

A project nominal tension equal to 3000 daN, 1.5 times



Fig. 25 – Regolazione automatica del tiro per filo di contatto in Cu-Mg. Automatic regulation of tension in Cu-Mg contact wire.

Cu-Mg un tiro nominale di progetto pari a 3000 daN che è pari a 1,5 volte il tiro di 2000 daN del filo tradizionale.

L'aumento del tiro determina la crescita della velocità di propagazione d'onda sulla linea di contatto (V_p) calcolabile come:

$$V_p = \sqrt{\frac{T_{cp} + T_{fc}}{m_{cp} + m_{fc}}} = 139 \text{ m/s} \quad \text{pari a } 500 \text{ km/h}$$

ove:

T_{cp} = tiro della corda portante = 16250 N;

T_{fc} = tiro filo di contatto = 30000 N;

m_{cp} = massa corda portante = 1,071 kg/m;

m_{fc} = massa del filo di contatto = 1,335 kg/m.

Pertanto con il filo in Cu-Mg 0,2 la velocità di marcia di 300 km/h risulta pari al 60% della velocità di propagazione, con un notevole margine rispetto al massimo del 70% stabilito dalla norma EN 50119 [4] ai fini di una buona qualità di captazione. In pratica la linea, sotto tale aspetto, diventerebbe idonea ad una velocità di 350 km/h (70% di 500 km/h). Con il filo attuale, tesato a 2000 daN, la velocità di propagazione è pari a 443 km/h: pertanto il rapporto tra velocità di esercizio e velocità di propagazione risulta pari al 68%.

Nelle future prove di captazione previste prima dell'attivazione della tratta Novara-Milano, si risconteranno tramite misure al pantografo, i benefici ottenibili dall'adozione del filo di contatto in Cu-Mg tesato a 3000 daN.

Per quanto riguarda le strutture di sostegno e di ormeggio, trattandosi di tratte sostanzialmente in rettilineo,

the tension of 2000 daN of the traditional wire, was assumed for the three AR sections equipped with Cu-Mg wire.

Increase in tension causes an increase in speed of wave propagation on the contact wire (V_p), which can be calculated as follows:

$$V_p = \sqrt{\frac{T_{cp} + T_{fc}}{m_{cp} + m_{fc}}} = 139 \text{ m/s} \quad \text{pari a } 500 \text{ km/h}$$

where:

T_{cp} = tension of the transmission wire = 16250 N;

T_{fc} = contact wire tension = 30000 N;

m_{cp} = mass per unit length of the transmission wire = 1.071 kg/m;

m_{fc} = mass per unit length of the contact wire = 1.335 kg/m.

Furthermore, with the 0.2 Cu-Mg wire, the transit speed of 300 km/h was found to be equal to 60 % of the speed of propagation, a notable margin with respect to the maximum of 70% established by the EN 50119 norm [4] regarding good quality captation. In practice, from this aspect the line would be suitable for a speed of 350 km/h (70% of 500 km/h). With the wire itself tensioned at 2000 daN, the speed of propagation is equal to 443 km/h: moreover, the relationship between running speed and propagation speed was found to be equal to 68%.

In the future captation tests programmed to occur before activation of the Novara-Milan section, measurements involving the pantograph will shed further light on the potential benefits of adoption of Cu-Mg contact wires tensioned at 3000 daN.

As far as the structures of support and mooring are concerned, as mainly rectilinear sections are involved, it was not necessary to carry out modifications to the existing standards as the loads acting on the masts are lower than the maximum project values of the high-speed line, calculated taking into account the effects of the curves.

3.5. The Earthing System of the Railway Tunnels, according to the Ministerial Decree of the 28th October 2005, applied to the new Bologna-Florence High-Speed Line

This decree, which has established new criteria for safety measures in railway tunnels, dictates the following as regards the contact wires:

a) Sectioning of contact line

For tunnels of which the length is greater than 5000 m, contact line sectionings must be positioned opportunely to allow mobility of the trains that precede or follow the trains involved in accidents, or the mobility of the trains that are located under a short-circuited section of the contact line.

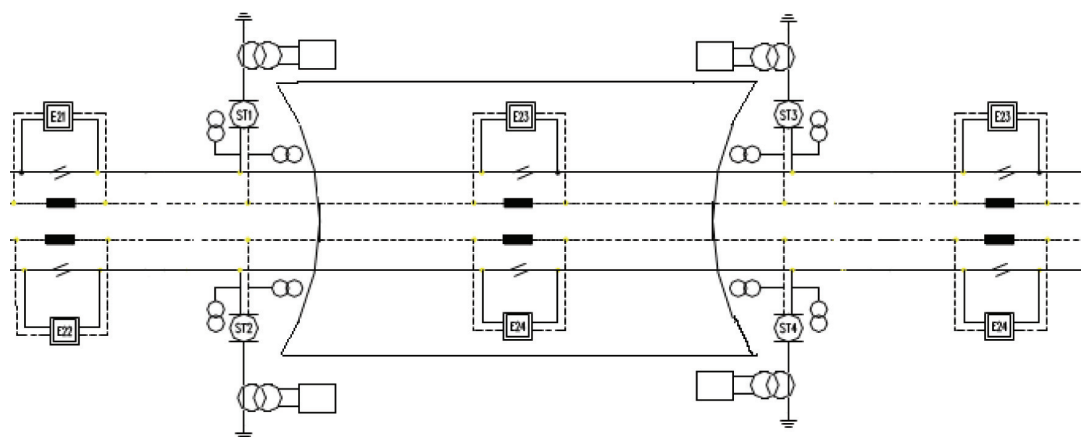


Fig. 26 – Schema tipo sistema di sezionamento e messa a terra. *Typo logic scheme of the sectioning and earthing system.*

non è stato necessario effettuare modifiche rispetto agli standard previsti, in quanto i carichi agenti sui pali sono inferiori ai massimi di progetto della linea AV, calcolati tenendo conto degli effetti delle curve.

3.5. Il sistema di messa a terra delle gallerie ferroviarie, secondo le prescrizioni del DM del 28 ottobre 2005, applicato alla nuova linea AV Bologna-Firenze

Il decreto per la sicurezza in galleria, che ha stabilito nuovi criteri per la messa in sicurezza delle gallerie ferroviarie, prescrive per la linea di contatto quanto segue:

a) Sezionamento linea di contatto

Per gallerie di lunghezza superiore a 5000 m devono essere previsti dei sezionamenti della linea di contatto opportunamente ubicati allo scopo di consentire la mobilità dei treni accodati o precedenti quelli incidentati o semplicemente posti sotto una tratta di linea di contatto interessata da un corto circuito.

b) Sistema di interruzione e messa a terra della linea di contatto

Deve essere installato un sistema che, in presenza di un incidente in galleria, consenta la disalimentazione della linea di contatto e la relativa messa a terra di sicurezza, mediante dispositivi posizionati negli imbocchi di accesso.

Il punto b) è valido per gallerie di lunghezza maggiore di 1000 m.

Le prescrizioni di cui al punto a) permettono, nel caso di lunghe gallerie, di sezionare il tratto di linea di contatto interessato dal guasto o incidente, ai fini di mantenere l'alimentazione ai treni che seguono o precedono il treno incidentato, consentendone la movimentazione. La posizione del sezionamento deve essere pertanto coordi-

b) Contact line switching and earthing systems

A system which allows the contact line to be broken, sectioned and earthed, in case an accident occurs in tunnel, has to be implemented by means of the installation of switching equipment at the tunnel entrances.

Point b) is valid for tunnels of which the length is greater than 1000 m.

Point a) requirements permit, in long tunnels, the disconnection of the contact wire section involved in a failure or an accident, in order to guarantee power supply to the trains which follow or precede the train involved, thus allowing its movement. The sectioning position must therefore be coordinated with the train spacing system and, in general, the switching equipment must be operated as soon as possible by the DOTE operator depending on the running conditions.

Point b) requirements have the aim of guaranteeing that emergency and rescue teams can access the tunnel with the contact line disconnected and earthed.

To satisfy these requirements, the Italian Railway Network has recently issued technical specifications which define the guidelines governing the sectioning and earthing systems of contact lines in tunnels and the principal characteristics of the equipment to be used.

These guidelines suggest the introduction of a new earthing system, as per fig. 26, to be situated at tunnel entrances, at emergency service access points and corresponding to any internal supply lines in tunnels, so as to allow a safe earthing via DOTE remote control or apposite local control switchboard, and thus avoiding the need for manual earthing to be operated by Electric Traction maintenance personnel. Voltage transformers are required to verify the integrity of the connections between the earthing disconnect switch and the contact line, while

nata con il sistema di distanziamento treni ed in generale il comando deve essere eseguito quanto prima dall'operatore DOTE in funzione delle condizioni di circolazione.

Le prescrizioni di cui al punto b) hanno lo scopo di permettere l'ingresso delle squadre dei mezzi di soccorso con la garanzia della toltensione e della linea di contatto messa a terra.

Per ottemperare a questi requisiti RFI ha recentemente emesso una specifica tecnica la quale definisce le linee guida con cui devono essere sviluppati i progetti delle linee di contatto delle gallerie, per quanto riguarda il sistema di sezionamento e messa a terra, e le principali caratteristiche delle apparecchiature da impiegare.

Tali linee guida prevedono l'introduzione di un nuovo sistema di messa a terra, come da fig. 26, da ubicare in corrispondenza degli imbocchi, degli accessi previsti per le squadre di soccorso e di eventuali linee di alimentazione interne alla galleria, in modo da consentire una messa a terra in sicurezza tramite comando da DOTE o da apposito quadro locale, evitando di ricorrere all'impiego di squadre TE mobilitate per inserire i tradizionali fioretti. Al fine di verificare l'integrità dei collegamenti tra il sezionatore di messa a terra e la linea di contatto, sono previsti trasformatori di tensione, mentre per il collegamento tra il sezionatore e la rotaia viene impiegato un apposito dispositivo controllore di continuità.

Sulla base di questa specifica è stato sviluppato il primo progetto del sistema di messa a terra in sicurezza per le gallerie della linea AV/AC Bologna-Firenze.

Questa applicazione è risultata particolarmente complessa, tenendo conto del numero e della lunghezza delle gallerie interessate con diverse finestre di accesso, nonché della complessità dell'architettura degli impianti TE 2 x 25 kV con due conduttori, linea di contatto e feeder sempre in tensione e, nel caso specifico, diversi alimentatori provenienti da impianti in galleria. Inoltre il progetto ha dovuto tener conto dell'elevato stato di completamento degli impianti e dell'interfaccia con gli altri sottosistemi, operando scelte progettuali per limitare al massimo la modifica di quanto già realizzato.

La metodologia adottata è stata la seguente:

- individuazione di gallerie equivalenti ai fini dei sezionamenti di linea, per la presenza di tratti molto brevi tra due gallerie consecutive;
- determinazione delle fonti di alimentazione dove collocare schematicamente i dispositivi di messa a terra MAT;
- collocazione territoriale degli enti e dei quadri di comando locale sul campo, in funzione degli accessi previsti per i soccorsi;
- definizione dell'architettura di comando locale integrata nel sistema di telecomando già realizzato,



Fig. 27 – Vista dell'interno di una galleria della Bologna-Firenze. Tunnel view on the Bologna-Florence line.

an apposite continuity controller must be used to verify the connection between the earthing disconnect switch and the rail.

Based on this specification, the first project for the safe earthing system was developed for the tunnels of the high-speed /high-capacity Bologna-Florence line.

This application was found to be particularly complex due to the number and length of the tunnels, with their numerous access points involved, and to the complexity of the architecture of the 2 x 25 kV ET systems with two conductors, contact line and feeder, simultaneously supplied, and, in this specific case, with different feeding conductors deriving from tunnel plants. Furthermore, the project had to be integrated into the previously designed systems and subsystems, and therefore the necessity of modification to the systems which had already been completed needed to be limited.

The methodology adopted was the following:

- identification of equivalent tunnels in terms of line sectioning, owing to the existence of some very short outdoor sections between two consecutive tunnels;
- determination of the supply sources where the earthing devices (MAT) are to be schematically collocated;
- collocation of equipment and local control switchboards in the field, according to the emergency service access plan;
- integration of the local control architecture in the previously developed remote-control system, via the use of optical-fibre communication lines.

We identified a total number of 7 tunnels, several with a length greater than 5000 m; each tunnel is equipped with two-pole earthing disconnectors at each principal entrance and emergency access point whose function is the earthing (MAT) of up-line and down-line contact line and feeders. These disconnectors have to be located in a visible position along the line access route of the rescue teams.

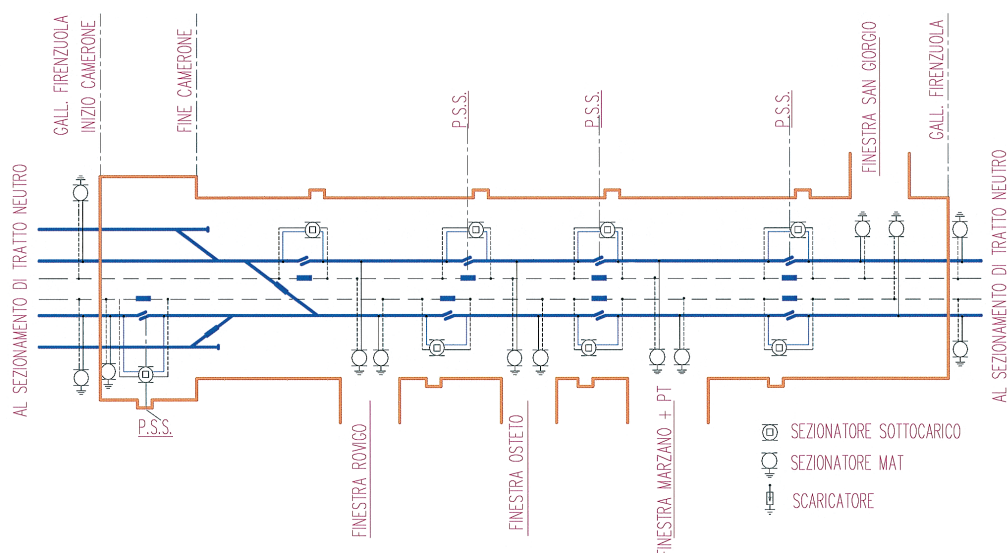


Fig. 28 – Schema elettrico della galleria di Firenzuola. *Electrical schematic of the Firenzuola tunnel.*

tramite l'impiego di linee di comunicazione in fibra ottica.

Il progetto ha individuato un numero complessivo di 7 gallerie, alcune di lunghezza superiore ai 5000 m; ogni galleria è equipaggiata in corrispondenza di ogni imbocco principale e di ogni finestra di soccorso con due sezionatori bipolari di messa a terra (MAT) della linea di contatto e del feeder dei binari pari e dispari, posizionati in modo visibile sul percorso di accesso al binario delle squadre di soccorso.

In fig. 28 è rappresentato, a titolo esemplificativo, lo schema della linea di contatto della galleria di Firenzuola avente lunghezza approssimativa di 15,3 km e provvista di 4 finestre di soccorso: Rovigo, Osteto, Marzano e San Giorgio. L'architettura del sistema di messa a terra di sicurezza prevede in questo caso 12 sezionatori MAT, 2 in corrispondenza di ogni imbocco e 8 per le 4 finestre di accesso. Il sezionamento longitudinale della galleria si realizza attraverso l'apertura dei sezionatori dei tratti neutri di Mugello e San Pellegrino e degli alimentatori dei corrispondenti PPD (esterni alla galleria e non rappresentati in fig. 28); i sezionamenti interni, necessari in quanto trattasi di galleria di lunghezza superiore ai 5000 m, sono garantiti dai sezionatori sottocarico previsti nei vari posti di sottosezionamento PSS.

I sezionatori MAT (fig. 29) presentano idonei livelli di isolamento in relazione alle caratteristiche elettriche del sistema 25 kV e, seppur normalmente manovrati in assenza di tensione di linea, sono dotati di un potere di stabilimento in cortocircuito di 16 kA, superiore ai valori di corto circuito massimi calcolati per la linea di contatto.

Fig. n° 28 shows, as an example, the schematic for the contact line of the Firenzuola tunnel, which is approximately 15.3 km in length and has 4 emergency access points: Rovigo, Osteto, Marzano and San Giorgio. In this case, the architecture of the safety earthing system includes 12 earthing disconnectors, 2 at each main entrance and 8 at the 4 emergency access points. The longitudinal sectioning of the tunnel is achieved by opening both the disconnectors of Mugello and San Pellegrino neutral sections and the feeding conductors of the corresponding DPPs (outside the tunnel and not represented in fig. 28); internal sectionings, which are necessary as the tunnel is longer than 5000 m, are carried out with the no-load disconnectors that are installed in the different Sub-Sectioning Posts (SSP).

The earthing disconnectors (MAT) (fig. 29) show suitable insulation levels in relation to the electrical characteristics of the 25 kV system and, although normally operated in absence of line voltage, possess a short-circuit current making capability of 16 kA, i.e. higher than the maximum short circuit currents calculated for the contact line.

As mentioned previously, in order to verify the integrity of the connections between disconnect switch and contact line/feeder, 2 voltage transformers are installed; if these reveal absence of voltage, this information is also sent to DOTE central post, where an alarm is activated if discordance is noted between the signal received and the real voltage state of the line. An alarm is also sent to DOTE if the apposite device reveals discontinuity of the earthing system/rail connection.

In order to simplify the system and lower the costs, it was not deemed necessary to add new disconnectors for

Come detto, per la verifica dell'integrità dei collegamenti tra sezionatore e linea di contatto/feeder sono previsti 2 trasformatori di tensione: l'assenza di tensione rilevata da questi ultimi, viene inviata anche alla postazione DOTE, dove viene visualizzata come allarme, nel caso in cui sia presente una discordanza tra la segnalazione e lo stato di tensione della linea. Un allarme al DOTE viene inviato anche nel caso di intervento dell'apposito dispositivo che rileva la continuità del collegamento MAT- rotaia.

Nell'ottica di semplificare l'impianto e contenere i costi, non si è ritenuto necessario aggiungere dei dispositivi di sezionamento di linea longitudinali per la linea di contatto, rispetto a quelli già presenti nello schema TE, in quanto essi sono sufficienti a garantire tutti i sezionamenti necessari per la disalimentazione della singola galleria nonché per il sezionamento al suo interno, nel caso di lunghezze maggiori di 5000 m. Questa scelta peraltro è stata possibile avendo inserito, come detto in 3.3, i sezionatori sottocarico, oltre che nei tratti neutri, nei posti di sottosezionamento, in sostituzione dei sezionatori rotativi manovrabili a vuoto. Infatti queste apparecchiature di nuova generazione consentono una maggiore flessibilità di esercizio, in quanto, oltre a garantire il sezionamento visibile, hanno la capacità di interrompere le normali correnti di carico, sono dotate di adeguato potere di chiusura in corto circuito, e possono pertanto essere manovrate indipendentemente dallo stato di alimentazione della linea di contatto.

Il sistema di sezionamento e messa a terra di sicurezza è normalmente comandato e controllato dalla postazione DOTE del PCS (Posto Centrale Satellite) di Bologna: per facilitare all'operatore DOTE il sezionamento e la messa a terra delle singole gallerie in situazioni di emergenza, è stato previsto un apposito macrocomando, vista anche la complessità degli impianti.

Comunque, anche nel caso che il DOTE non sia stato in grado di operare a causa di un guasto al sistema di telecomando, la messa a terra può essere comandata localmente come prescritto dal D.M. 28/10/2005 [7] (punto b).

A tal fine il progetto prevede che venga installato un quadro QMAT in corrispondenza di ogni imbocco e finestra di soccorso con le funzioni di comando e controllo locale dei sezionatori MAT situati nelle immediate vicinanze. Il quadro è provvisto di un sinottico in cui sono inseriti i sezionatori MAT di quell'imbocco o finestra, completi dei manipolatori di comando e delle segnalazioni di controllo di continuità dei collegamenti (presenza tensione e controllo del collegamento al binario), e di un pulsante unico per la chiusura contemporanea di tutti i sezionatori, con relativo segnale luminoso di manovra completata. In questo modo l'operatore, una volta giunto in corrispondenza di un accesso può operare, a meno che non vi abbia già provveduto il DOTE, con un unico comando la messa a terra della linea di contatto e dei feeder di binario pari e dispari di quell'im-



Fig. 29 – Sezionatore MAT durante le prove di tipo. *Earthing disconnect switch during tests.*

contact line longitudinal sectioning, with respect to the already existing ones, as in the ET schematic, as these are sufficient to guarantee all necessary sectionings to cut off the tunnel supply, as well as to section contact line inside the tunnel in case of tunnel lengths greater than 5000 m. This choice was made possible by the previous insertion, as mentioned in 3.3, of switch disconnectors in the place of no-load operated disconnectors, in both the neutral sections and the Sub-Sectioning points. In fact, these new generation devices permit a better operation flexibility as, in addition to guaranteeing a visible sectioning, they have the capacity to break the normal load currents, they have an adequate short-circuit making capability, and can then be operated irrespective of the state of the contact line supply.

The sectioning and earthing system is normally controlled by DOTE operator at the Bologna CSP (Central Satellite Post); due to the complexity of the plants involved, in order to facilitate the DOTE operator for sectioning and earthing each single tunnel in emergency condition, an apposito macro-command has been included.

However, if DOTE is unable to operate due to failure in the remote control system, earthing may be controlled lo-

bocco o finestra. Una chiave di sicurezza estraibile a sezionatori MAT chiusi, impedisce manovre indebite fino al termine delle operazioni di soccorso.

I comandi e i controlli dei nuovi sezionatori MAT sono trasferiti alla postazione DOTE del PCS di Bologna, al pari di tutti gli altri enti TE, attraverso le RTU (Remote Terminal Unit) dei posti periferici lungo linea. Dal punto di vista realizzativo si è ritenuto opportuno riportare per ogni galleria, tramite collegamenti a fibra ottica, tutti i segnali dei sezionatori di terra ad un'unica RTU di riferimento. A tale scopo è stato inserito nel posto periferico un PLC dedicato che colloquia direttamente con la RTU, trasferendo i comandi e i controlli attraverso dei moduli Input/Output posizionati nel quadro di interfaccia e collegati tramite fibra ottica. L'architettura così realizzata, schematizzata in fig. 30, permetterà, con impatti ridotti, l'evoluzione del sistema attuale, che prevede sempre una verifica visiva dell'effettiva messa a terra di ogni ente, verso un sistema completamente automatico, in cui la verifica, al fine di ridurre il dispiego del personale di servizio ed il tempo di intervento, è garantita dal sistema stesso tramite la trasmissione e l'integrazione dei segnali di posizione degli enti da un estremo all'altro della galleria.

3.6. Evoluzione del DOTE AV

Come noto in condizioni normali la gestione degli impianti ferroviari, nell'ambito delle tratte AV, è effettuata in modo centralizzato e remoto dagli operatori del PCS (Posto Centrale Satellite); per il comando e controllo degli impianti di trazione elettrica è presente un sottosistema dedicato denominato DOTE (Dirigente Operativo Trazione Elettrica). Il progetto del DOTE AV per le linee Milano - Bologna e Bologna-Firenze rappresenta il primo esempio di sistema integrato per la gestione sia delle alimentazioni delle linee AV 2 x 25 kV che di quelle degli impianti alimentati a 3 kV. Per assicurare la piena funzionalità sono previsti cinque pulpiti: tre dedicati agli impianti 3 kV, uno per le linee AV Milano-Bologna e Bologna-Firenze e

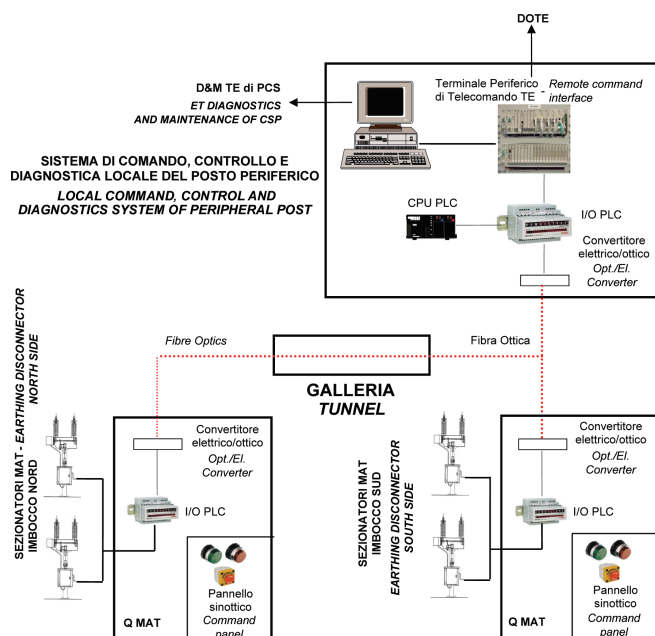


Fig. 30 – Architettura del sistema di telecomando e telecontrollo dei sezionatori MAT. Architecture of system for remote control of earthing disconnectors.

age and control of connection to the rail), and with a single button to close all disconnectors simultaneously; an indicator shows that this operation has been successfully completed. In this way the operator, once arrived at the access point, unless DOTE has already done the operation, can actuate, with one single command, the earthing of the up-line and down line contact line and feeders of that entrance or access point. A safety key, which can be extracted once earthing disconnectors are closed, prevents undue operations until completion of the emergency and rescue activities.

Controls and commands of the new earthing disconnectors, and of all other ET equipment, are transferred to the DOTE post at the CSP of Bologna via the RTU (Remote Terminal Unit) of the peripheral posts along the line. From a feasibility perspective, it was judged to be opportune to transmit, via optical-fibre connections, all signals from the earthing disconnectors in each tunnel to one reference RTU. To this end, a dedicated PLC which communicates directly with the RTU was installed into each peripheral post, transmitting all the commands and controls via Input/Output modules located in the interface control switchboard and connected via optical-fibre. Architecture realised in this manner, schematically represented in fig. 30, will permit, with reduced impact, the evolution of the existing system, which always requires a visual inspection of the effective earthing of each equipment, towards a completely automatic system, in which the verification is

cally, as required by the 28/10/2005 Ministerial Decree [7] (Point b).

With this aim, the project included the installation of an Earthing Control Switchboard (ECS) at each entrance and emergency access point, which permits local control and command of the earthing disconnectors situated in the immediate vicinity. This control station contains a synoptic panel in which the earthing disconnectors of that entrance or access point are represented, complete with control manipulators and indicators of connection continuity (presence of volt-

uno di configurazione del sistema; tutte le postazioni sono all'occorrenza intercambiabili. L'integrazione consente di scambiare tra le varie postazioni informazioni utili agli operatori sullo stato degli enti delle interconnessioni, fornendo in tempo reale la percorribilità delle linee in corrispondenza dei punti di confine tra i due diversi sistemi di alimentazione. La postazione DOTE AV gestisce anche tutte le cabine di media tensione (MT) dedicate all'alimentazione degli impianti di sicurezza in galleria della linea Bologna-Firenze, nonché il sistema di alimentazione in MT dell'ACC (Apparato Centrale Computerizzato) del nodo di Bologna.

Già a partire dalla linea Milano-Bologna sono state inoltre inserite le seguenti funzioni innovative, derivate dai riscontri di esercizio delle linee AV Roma-Napoli e Torino-Novara:

- il comando di parallelo temporaneo delle linee AT che alimentano le Sottostazioni in modo da evitare, nel caso di modifica dell'architettura AT, lunghe operazioni di riconfigurazione con estese disalimentazioni degli impianti;
- il comando degli enti lato primario e secondario dei trasformatori MT /BT collegati al feeder, in modo da estendere la gestione delle disalimentazioni dell'operatore DOTE a tutti gli impianti collegati al 25 kV.

In fig. 31 è rappresentato ad esempio lo schema della SSE di Beneceto della linea Milano-Bologna, così come viene visualizzata alla postazione DOTE, da cui si possono identificare i collegamenti al feeder per l'alimentazione dei servizi ausiliari (S.A.) e i sezionatori SSA1-SSA2 e gli interruttori ISA1-ISA2 di cui è possibile il comando da DOTE.

Il DOTE AV mantiene la registrazione dei valori della tensione alle sbarre 25 kV di sottostazione e, per la Bologna-Firenze, anche dei Posti di Parallelo. La registrazione del valore della tensione consente al gestore degli impianti di valutare la qualità della tensione fornita ai treni nell'ottica del rispetto dei valori normativi e prestazionali.

Per la linea Bologna-Firenze, che presenta la peculiarità di SSE con quadri AT/MT blindati in SF₆, viene riportato al DOTE AV l'allarme dei singoli comparti sezionabili dei quadri stessi, al fine di consentire la rapida riconfigurazione dell'impianto in caso di anomalie.

3.7. Il nuovo sistema di diagnostica

Il progetto del sistema Alta Velocità ha previsto sin dalla sua fase esecutiva una postazione dedicata alla diagnostica degli impianti di trazione elettrica, ubicata presso il PCS. Nelle applicazioni ferroviarie e in particolare nel sistema AV/AC, la creazione di una postazione espressamente dedicata alla diagnostica TE, distinta e separata da quella DOTE, è stata ritenuta dal punto di vista funzionale una scelta obbligata, in virtù della mole di dati provenienti dal campo che avrebbero ostacolato la gestione del-

guaranteed by the system itself via the transmission and integration of position indicators from one end of the tunnel to the other; thus reducing the deployment of the service personnel and the intervention time.

3.6. Evolution of the high-speed DOTE system

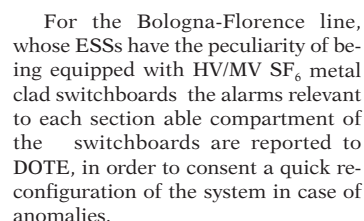
Under normal conditions, management of high-speed sections of track is generally carried out by remote control by the operators of the CSC (Central Satellite Centre); for command and control of electric traction systems, an apposite subsystem called DOTE is employed. The high-speed DOTE project for the Milan-Bologna and Bologna-Florence lines is the first example of an integrated system for management of the supply of both the 2 x 25 kV high-speed lines and the 3 kV systems. In order to ensure full functionality, five platforms are incorporated: three dedicated to the 3 kV systems, one for the high-speed Milan-Bologna and Bologna-Florence lines and one for system configuration; all these stations are interchangeable. Integration permits exchange, between the various stations, of useful information about the state of the inter-connection line equipment, giving in real-time the viability of the lines at the border between the two different supply systems. The high-speed DOTE station also manages all the medium-voltage (MV) cabins dedicated to the supply of safety systems in the tunnels of the Bologna-Florence line, as well as the MV supply system of the Digital Interlocking Apparatus DIA of the Bologna railway junction.

In the Milan-Bologna line the following innovative functions were also incorporated inspired by experience of the Rome-Naples and Turin-Novara high-speed lines:

- temporary parallel command of the high-voltage lines which supply the substations in order to avoid time-consuming reconfiguration operations and the need for the systems to be off-line for long periods of time during modification of the high-voltage architecture;
- command of the primary and secondary side equipment of the MV/LV transformers connected to the feeder in order to extend management of the supply interruption by the DOTE operator to all the systems connected to the 25 kV supply.

Fig. 31 the schematic of the Beneceto ESS on the Milan-Bologna line, as it is visualised at the DOTE post; the connections to the feeder for supply of the auxiliary services (AS), the SSA1-SSA2 disconnectors and the ISA1-ISA2 circuit breakers can be identified and controlled by DOTE.

The high-speed DOTE continuously registers the voltage values at the 25 kV substation bus bars and, for the Bologna-Florence line, at the Parallel Post bus bars too. Registration of the voltage values permits the railway network operator to evaluate the quality of the voltage supplied to the trains as far as regulation and performance values are concerned.



The high-speed system project included, from its executive phase, a station dedicated to electric traction system diagnostics, located at the PCS. In railway applications, and in particular in the high-speed/high-capacity system, the creation of a station expressly dedicated to TE diagnostics, distinct and separate from DOTE, was retained to be an obligatory choice from a functional perspective, in virtue of the mass of data from the field which would have hindered supply management by the DOTE operator. It should not be forgotten that the new high-speed railway lines are characterised by a high integration level between the various electric subsystems, including lightning and power plants, which, have the feeder as a backup source of supply. are moni-

le alimentazioni dell'operatore DOTE. Si tenga poi presente che le nuove linee ferroviarie ad Alta Velocità prevedono una forte integrazione tra i vari sottosistemi elettrici, inclusi gli impianti di luce e forza motrice, i quali, avendo come fonte di alimentazione anche il feeder, vengono monitorati dal sistema di diagnostica e manutenzione al pari delle apparecchiature componenti il circuito di potenza. Di particolare rilevanza è l'esigenza di garantire la massima continuità di alimentazione agli impianti di segnalamento e a quelli di sicurezza in galleria.

tored by the diagnostics and maintenance system as for the traction equipment. The need to guarantee maximum continuity of supply to the signalling systems and those governing in-tunnel safety is of particular relevance.

The first application of the diagnostics and maintenance system on the Rome-Naples high-speed line, although matching the specifications of the project, demonstrated several limitations in the practical operation, especially as regards the operator interface and the usability of historical data, which were gathered in an overly generalised manner in one single event page. In particular, line operation highlighted the necessity for the diagnostics station, to both storage a large amount of data from the ET systems and in particular to present them to the operator in an efficient way, in order to facilitate viewing of sensitive data and to avoid dispersion in the multiplicity of the information received.

On the basis of these considerations, evolution of the system to be implemented on the Milan-Bologna and Bologna-Florence lines is underway, with the addition of a function which generates a series of new video pages for the operator's perusal. This addition includes an initial

Sulla base di queste considerazioni è in corso un'evoluzione del sistema che sarà implementata sulle linee Milano-Bologna e Bologna-Firenze con l'aggiunta di una sezione che mette a disposizione dell'operatore una serie di nuove pagine video. Essa prevede una pagina iniziale nel cui menu sono disponibili diverse modalità di interrogazione del sistema:

- per singolo ente e sito in un dato intervallo temporale;
- per stesse apparecchiature installate in differenti siti, detta funzione "allarmi e misure multisito".

In tal modo è possibile un'analisi statistica sullo stato generale delle apparecchiature, confrontando ad esempio il dato sulla vita utile di stessi enti oppure la ripetitività di anomalie o l'eccessiva usura su apparecchiature di un dato costruttore o su uno specifico impianto; la fig. 32 rappresenta, a titolo di esempio, l'interfaccia grafica di selezione per la funzione "allarmi e misure multisito" in cui per ognuna delle possibili selezioni sono da inserire i campi: sito, ente e allarme specifico che si vuole confrontare.

E' stato inoltre previsto il monitoraggio del tempo di funzionamento di trasformatori e autotrasformatori. Tale informazione risulta molto utile per il gestore degli impianti al fine di alternare, confrontando i tempi di funzionamento, l'uso dei singoli trasformatori in esercizio effettivo, evitando un eccessivo squilibrio di ore di funzionamento. Infatti le Istruzioni per l'esercizio degli impianti TE a 25 kV, emanate dalla Direzione Tecnica RFI, stabiliscono che le sottostazioni elettriche devono alimentare gli

page whose menu shows different options for interrogating the system:

- for each component and site in a given time interval;
- for the same type of equipment installed at different sites, known as the "multi-site alarms and measures" function.

In this way statistical analysis of the general state of the equipment is possible, allowing the comparison, for example, of the service life data of the same equipment or the repetitively of anomalies or excessive wear of equipment from one single manufacturer or belonging to one specific system; fig. 32 depicts, as an example, the graphic interface for the selection of the "multi-site alarms and measures" function in which the following information must be entered for each of the possible options: site, equipment and specific alarm to be compared.

Furthermore, the possibility to monitor the service time of transformers and autotransformers has also been included. This piece of information was found to be extremely useful for system management, allowing to compare the service times and then to alternate the usage of each transformer, thus avoiding an excessive unbalance in the service times. In fact, the instructions for operation of 25 kV systems, issued by the Italian Railway Network Technical Direction, states that electric substations must supply the traction systems with only one transformer, maintaining the other in an hot-standby state so as to be ready to act as backup in case of necessity.

Fig. 32 – Interfaccia grafica: "Allarmi e misure multisito". Graphical interface: "multi-site alarms and measures".

impianti di trazione con un solo trasformatore, mantenendo per quanto possibile l'altro in tensione, quale elemento in riserva calda per la pronta disponibilità.

Nelle grandezze disponibili per trasformatori e autotrasformatori sono state inserite anche le visualizzazioni delle varie temperature di funzionamento in modo da verificare, in sede di analisi dei dati, se l'assetto di rete risultasse particolarmente critico per quel trasformatore/autotrasformatore di potenza.

Tale funzione può risultare, ad esempio, particolarmente utile per la linea Bologna-Firenze in cui, per la presenza di gallerie, la distanza tra due PPD risulta maggiore dello standard (fino a 21 km) ed i relativi autotrasformatori sono più caricati. In funzione della temperatura rilevata, l'operatore DOTE può decidere l'inserimento di un ulteriore autotrasformatore in parallelo, essendone installati tre invece di due nei PPD più lontani.

Con le nuove funzioni individuate, il sottosistema di diagnostica TE costituisce uno strumento utile per fornire un ritorno sulle criticità delle varie apparecchiature, anche con confronti statistici tra i diversi fornitori, e permettere la pianificazione di un piano di manutenzione complessivo della linea meno invasivo possibile con l'esercizio.

Visualization was also incorporated of the various operation temperatures of the different transformers and autotransformers in order to verify, upon data analysis, if network configuration was found to be particularly critical for that particular power transformer/ autotransformer.

This function could be particularly useful on the Bologna-Florence line, where, due to the presence of tunnels, the distance between two DPPs is greater than the standard spacing (up to 21 km) and the relevant autotransformers are therefore subject to an higher load. In function of the temperature revealed, the DOTE operator may decide to put in operation a further autotransformer in parallel, as three rather than two autotransformers are installed in the two DPPs of Bologna-Florence line that are characterised by a higher distance from the adjacent DPPs.

With the new identified functions, the ET diagnostics subsystem is a useful instrument for providing feedback on the criticality of the different equipment, with statistical comparisons between the different suppliers too, and would permit to carry out a global maintenance plan of the line that could be as less invasive as possible towards the line operation.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] G. GUIDI BUFFARINI, V. MORELLI - *"Criteri di progetto del sistema di trazione elettrica 25 kV, 50 Hz, per le nuove linee ferroviarie italiane ad alta velocità"* – Ingegneria Ferroviaria n.11/Novembre1994.
- [2] Norma CEI EN50163 - *"Tensioni di alimentazione nei sistemi di trazione"*.
- [3] Norma CEI EN50122-1 - *"Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse – Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra"*.
- [4] Norma CEI EN50119 - *"Applicazioni ferroviarie – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica"*.
- [5] Norma CEI EN50367 - *"Applicazioni ferroviarie – Sistemi di captazione di corrente – Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (per ottenere il libero accesso)"*.
- [6] Specifica tecnica di interoperabilità del sottosistema "energia" del sistema ferroviario – del 6/03/2008 – 2008/284/CE notificata col numero C(2008) 807.
- [7] Decreto 28/10/2005 del Ministero dell'Infrastruttura e dei Trasporti – *"Sicurezza nelle gallerie ferroviarie"*.
- [8] G. GUIDI BUFFARINI - *"Programmi di simulazione per l'analisi delle alimentazioni di un sistema di trazione elettrica monofase 2 x 25 kV"* – Convegno DITEL Genova 1992.

Sommaire

L'ÉVOLUTION DES INSTALLATIONS POUR TRACTION ÉLECTRIQUE À 25 KV EN ITALIE

L'article décrit les principales solutions innovatrices introduites dans les installations pour traction électrique 2 x 25 KV des lignes AV/AC italienne. Telles solutions concernent l'architecture de l'alimentation en haute tension, les configurations des segments neutres, le système de mise à terre de la ligne de contact dans les tunnels, le système de télécommande DOTE et de diagnostic ainsi que l'utilisation expérimentale du fil de contact en Cu-Mg.

Inhaltsübersicht

DIE ENTWICKLUNG DER BAHNENERGIEVERSORGUNGSANLAGEN UND OBERLEITUNGEN DES ITALIENISCHEN SYSTEMS 25 kV

Beschreibung der Erneuerungen in den Bahnenergieversorgungs- und Oberleitungsanlagen der italienischen NBS. Die Neurungen betreffen die Hochspannungsspeiseanlagen, die Gestaltung der isolierten Oberleitungsabschnitten, die Erdschluss der Oberleitungslinien in Tunnel, das Fernsteuersystem DOTE und die experimentelle Verwendung von Kupfer-Magnesium Fahrdrahten.