



Soluzioni tecniche innovative per l'alimentazione elettrica degli impianti ausiliari e di emergenza delle linee ferroviarie

Innovative technical solutions for the power supply of auxiliary and emergency equipment in the railway lines

Dott. Ingg. Guido GUIDI BUFFARINI^(*), Massimo CASTELLANI^(*)

Sommario - L'articolo illustra lo sviluppo e l'evoluzione dei sistemi di alimentazione degli impianti tecnologici ferroviari con particolare riferimento agli impianti di sicurezza in galleria (fig. 1) alla luce delle nuove normative in materia. Sono rappresentate le analisi e le conseguenti scelte progettuali applicate per le tratte ad Alta Velocità in esercizio e per quelle di futura realizzazione.

1. Premessa

Il numero e la tipologia di impianti tecnologici installati nelle linee ferroviarie è in continuo aumento al fine di soddisfare i requisiti sempre più stringenti di Norme e Leggi che richiedono elevati livelli prestazionali e di affidabilità.

In questo contesto l'alimentazione elettrica degli impianti installati lungo linea e nei posti di servizio ha assunto un ruolo di fondamentale importanza, soprattutto per le linee ferroviarie con presenza di gallerie. L'affidabilità dei sistemi è infatti direttamente dipendente dall'al-

Summary - The present paper describes the development and the evolution of the systems supplying power to the railway technological installations with a specific regard to the in-tunnel emergency plants (fig.1) and the relevant new regulations. The analyses and the consequent design choices applied to the High Speed Lines in operation and in future construction are here illustrated.

1. Foreword

Number and typology of the technological installations in the railway lines are characterized by a continuous increase aiming to satisfy more severe requirements set by Standards and Laws in term of high performance and reliability levels.

In this context, the power supply of the technological plants installed both along the line and in the operating points has gained a primary importance role, especially for the railway lines including tunnel sections.

Systems reliability directly depends on power supply that has to respect specific standard requirements according to the type of equipment supplied.

A clear example is represented by the High Speed Line Bologna-Florence in operation since December 2009. In this railway line, whose layout extends almost completely in tunnel ($\approx 93\%$ of the overall layout), all the equipment installed, is electrically powered.

The technological equipments, designed to support the normal operation and supplied by the electric network, are: signaling equipment, auxiliary systems for overhead contact lines and electrical substations, GSM Base Transceiver Stations, lighting installations, switches heating equipment, remote control and diagnostic systems.



Fig. 1 - Impianto d'illuminazione in galleria. Tunnel lighting installation.

^(*) Italfer S.p.A.

SCIENZA E TECNICA

mentazione elettrica che deve rispettare precisi requisiti normativi in funzione del tipo di utenze da alimentare.

Un chiaro esempio di quanto affermato è costituito dalla tratta Alta Velocità Bologna-Firenze, attivata all'esercizio commerciale a dicembre 2009. In questa tratta, in cui la presenza di gallerie è significativa ($\approx 93\%$ del tracciato), la totalità degli impianti funziona con alimentazione elettrica.

Le utenze alimentate dalla rete elettrica sono sia quelle impiegate durante il normale esercizio della linea, quali ad esempio il segnalamento ferroviario, i sistemi ausiliari della linea di contatto e SSE, le stazioni radio base GSM, l'iluminazione di servizio, il riscaldamento dei deviatori, i sistemi di telecomando e diagnostica, la videosorveglianza,

Even the systems for the management of the emergency situations (emergency lighting systems, ventilation and smoke control systems, fire water plants, telecommunication systems, sound diffusion systems) (fig. 2) are supplied by the electric network.

The planned railway lines and in particular those lines whose layout extend mainly in tunnel, such as the Turin-Lion line section, the Brenner tunnel of the new corridor Munich-Verona, the high speed underground links of Bologna and Florence, where the concentration of installations is considerable, impose innovative choices for the auxiliary power supply system. These choices should be done in order to respect the reliability requirements of each subsystem, to solve quickly and efficiently the un-



Help Point e Illuminazione d'emergenza
Help Point and emergency lighting



Diffusione sonora
Sound diffusion plant



Impianto idrico antincendio
Fire water plant



Controllo fumi in finestra
Smoke control system in the escape tunnel



Stazione radio base (BTS)
Base Transceiver Stations (BTS)



Radio propagazione in galleria
Radio propagation in tunnel



Quadro generale segnalamento
Signalling main switch board



Quadro generale cabina sicurezza
Safety cabin main switch board



Quadro distribuzione segnalamento
Signalling Distribution Board

Fig. 2 - Utenze elettriche a servizio delle linee ferroviarie. Electrical users of the railway lines.

SCIENZA E TECNICA

sia quelle utilizzate per la gestione delle situazioni più critiche, quali l'illuminazione d'emergenza, la ventilazione per il controllo dei fumi, l'impianto idrico antincendio, le telecomunicazioni, la diffusione sonora (fig. 2).

Le tratte di futura realizzazione, in particolare quelle con prevalente sviluppo di tracciato in galleria, come ad esempio la tratta Torino-Lione, il tunnel del Brennero del nuovo asse ferroviario Monaco-Verona, i passanti Alta Velocità di Bologna e di Firenze, in cui la presenza di impianti installati è rilevante, impongono scelte innovative per il sistema di alimentazione elettrica ausiliaria al fine di consentire il rispetto dei requisiti di affidabilità richiesti per ciascun sottosistema, una rapida ed efficace risoluzione degli imprevisti, un limitato impegno di risorse in campo per la manutenzione.

2. Requisiti richiesti dalle normative per la rete elettrica

Le principali norme di riferimento per la realizzazione delle linee ferroviarie in galleria sono il Decreto Ministeriale 28 ottobre 2005 "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" [1] e la "Specifica Tecnica di Interoperabilità (STI) [2] concernente la «sicurezza nelle gallerie ferroviarie» nel "sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità" (del 20/12/2007, emanata con GU Unione Europea del 07/03/2008).

Nei confronti dell'alimentazione elettrica a servizio dei dispositivi di emergenza, le prescrizioni del DM richiedono opportune configurazioni o ridondanze tali da garantire, in caso di guasto singolo, la sola perdita di tratti di impianto brevi, comunque non superiori a 500 metri.

In linea con il DM italiano, le STI richiedono che l'alimentazione elettrica sia in grado di funzionare pienamente anche in caso di perdita di un elemento fondamentale (come ad esempio una cabina elettrica, un quadro, una dorsale in cavo). Inoltre è richiesto che le luci di emergenza e i sistemi di comunicazione dispongano di una riserva di almeno 90 minuti.

I requisiti sopracitati hanno precise ricadute sull'architettura della rete elettrica di alimentazione che deve quindi poter disporre di più fonti di alimentazione, avere un sistema di protezione che discrimini automaticamente in modo selettivo il punto di un eventuale guasto al fine di contenere il tratto fuori servizio e ottenere un pronto rientro in servizio in caso di disinserimento. In sostanza viene richiesto un sistema costituito da sezioni d'impianto eventualmente "sacrificabili" ma che subito a monte e a valle del punto affetto da guasto devono essere funzionanti.

3. Criteri progettuali e architettura di sistema

Lo schema di alimentazione delle utenze dislocate lungo una tratta ferroviaria con gallerie, prevede in generale il reperimento di più fonti di alimentazione di energia

foreseen events and to limit the utilization of the in-field maintenance resources.

2. Electric Network requirements imposed by the applicable Regulations

The main reference Regulations for the railway line tunnel construction are The Ministerial Decree of October 28th 2005 "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" [1] and the "Technical Specification for Interoperability (TSI) [2] concerning «safety in railway tunnels» of the "TransEuropean Conventional and High Speed railway system" (issued on 12/20/2007 and published on the European Union Gazette on 07/03/2008).

With reference to the power supply of the emergency devices, the Ministerial Decree requirements, impose suitable configurations or redundancies aiming to guarantee, in case of single failure, the loss of short plant sections, anyway not longer than 500 meters.

In conformity with the above-mentioned Ministerial Decree, the TSI requires that power supply is ensured even in case of loss of a main element (such as for instance an electric cabin, an electric board, a line). It is moreover required that the emergency lights and the communication systems have a power backup at least of 90 minutes.

The above requirements have a specific impact on the architecture of the power supply network that must to have more power sources and an efficient protection system that automatically detects the possible fault point in a selective way thus containing the out-of-service section and gaining a ready return to operation in case of supply interruption. It is practically allowed that some plant sections can be out-of-service; in such case it is anyway required that the plant sections preceding and following the fault one are in operation.

3. Design criteria and system architecture

The power supply system of the technical equipments along a railway line with tunnels is usually connected to several power supply sources aiming to satisfy the redundancy requirement set by the Regulations.

The power supply's voltage level depends on both the standard used by the Energy Provider Company and the power demand; it is then necessary to make a precise evaluation of the electric loads along the line and to consider the relevant contemporary factors in case of normal operation and emergency operation.

The power density reference value is of about 100-150 kW/km for a double-track line with single tunnel section while it can reach a value of 800 kW/km for a single-track line with double tunnel section (depending on its length and depth).

In the specific case where high power ratings are re-

SCIENZA E TECNICA

elettrica per soddisfare il requisito normativo di ridondanza.

Il livello di tensione a cui è possibile ottenere una fornitura di energia elettrica dipende dallo standard in uso da parte dell'ente fornitore e dall'entità della potenza assorbita; pertanto è necessario procedere ad un'attenta riconoscizione dei carichi elettrici da installare lungo la tratta per poi considerarne la contemporaneità di funzionamento, in caso di normale esercizio ed in caso di emergenza.

Per una tratta in galleria a doppio binario singolo fornisce il valore di densità di potenza di riferimento è circa 100+150 kW/km, mentre per una galleria a doppio fornice con singolo binario, in ragione della sua lunghezza e profondità, si può raggiungere una densità di potenza di 800 kW/km.

Nel caso in cui siano in gioco elevate potenze, è necessario realizzare una distribuzione in galleria in media tensione; con la fornitura di energia elettrica in media tensione (10+20 kV) si distribuisce in galleria con una linea in cavo realizzando una rete elettrica d'utente alimentabile da due lati (fig. 3).

È necessario verificare che le due forniture di energia elettrica siano tra loro indipendenti, ossia collegate a differenti cabine primarie del distributore di zona. Utilizzare fonti di energia elettrica indipendenti, significa poter considerare l'una come riserva dell'altra, ossia si assume che, ove una delle due sia fuori servizio, l'altra sia disponibile, rispondendo così ai requisiti che richiedono un sistema di alimentazione elettrico ridondante.

L'architettura sopra descritta è stata impiegata nella

quida it is necessary to arrange a medium voltage tunnel-distribution system; such distribution system is supplied by a medium voltage (10[20 kV) source with a cable line forming an equipment network that can be supplied from two directions (fig. 3).

It is necessary to verify the independency of the two power supply sources, that must to be connected to different primary cabins of the local distribution grid. The independency of two power sources means that each source can be considered as a backup of the other one. The power source independency allows to satisfying the specification requirement concerning the supply system redundancy.

The above-described architecture was implemented in the High Speed Railway Line Bologna-Florence (fig. 4) where four independent power supply sources were located at a reciprocal distance of about 30 km. The whole network included 37 MV/LV transformer cabins. The overall length of the tunnels and the importance of the considered line section in the context of the High Speed Network suggested to lead, in conjunction with ENEL, specific analyses concerning the reliability of the single power sources as a function of the different operation architectures of the HV and MV networks. Such analyses, even considered the necessity to supply the Electric Traction rescue installation [3], led to the decision of increasing the system reliability level on the Bologna side (North Mouth of the Pianoro tunnel) by a double connection to the ENEL distribution network. The configuration of MV network in normal operation, was selected in order to guarantee its connection to the higher reliability sources.

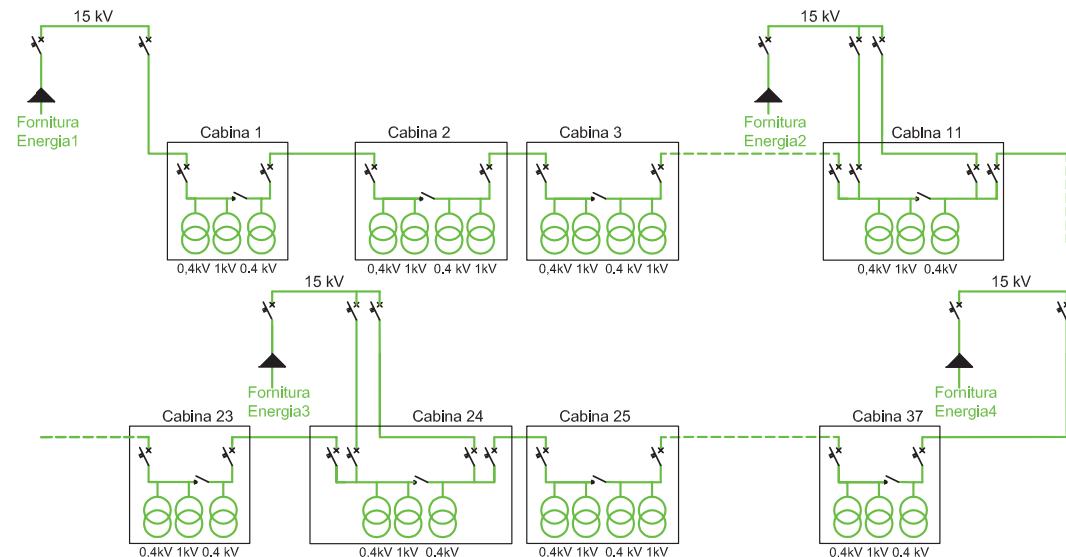


Fig. 3 - Schema elettrico rete MT per tratta ferroviaria in galleria. Electric diagram of the MV network in a railway line tunnel section.

SCIENZA E TECNICA

Tratta Alta Velocità Bologna-Firenze (fig. 4), in cui sono stati previsti quattro punti di adduzione di energia indipendenti distanti circa 30 km uno dall'altro e 37 cabine di trasformazione MT/BT. In particolare vista la rilevanza delle gallerie e l'importanza della tratta nell'ambito della rete AV, sono state effettuate specifiche analisi congiuntamente a ENEL in merito all'affidabilità delle singole fonti in funzione dei diversi assetti di esercizio della rete AT e MT del distributore. Tale studio ha portato ad aumentare il livello di affidabilità lato Bologna (Pianoro Nord) mediante un doppio allaccio alla rete ENEL, anche in considerazione della presenza dell'impianto di alimentazione di soccorso della Trazione Elettrica [3]. Nel definire i diversi assetti di esercizio della rete di media tensione, è stato scelto per il normale esercizio quello che prevede il collegamento alle fonti di energia di maggior affidabilità.

Vista l'estensione della rete di utente in media tensione (tre tratte ciascuna di circa 30 km di lunghezza) è stato effettuato uno studio per rilevare eventuali condizioni critiche in caso di guasto. Tale studio ha portato ad individuare nella situazione di guasto a terra monofase la condizione di maggior criticità dal punto di vista delle sovrattensioni transitorie che raggiungono un livello pari a circa due volte la tensione di riferimento. Ciò ha determinato l'adozione di un livello d'isolamento superiore per tutti i componenti della rete MT, prevedendo isolamento a 24 kV per cavi, quadri (fig. 5) e avvolgimenti primari dei trasformatori, contro i 15 kV di esercizio. I giunti e i terminali dei cavi in media tensione, che costituiscono un punto debole del sistema, sono stati scelti con isolamento a 30 kV e di tipologia "cold-shrink"; i giunti del tipo citato possiedono la caratteristica di non richiedere l'iniezione di resina miscelata sul posto oppure il riscaldamento di materiale termo restrincente, rendendo quindi indipendente la qualità della giunzione dalle operazioni di posa eseguite in campo. Infatti essi sono realizzati in gomma siliconica, preal-

Considering the extension of the MV network (three sections, each one of about 30 km in length), a specific study was carried out to detect critical conditions in case of fault. Such study brought to consider the single-phase earth fault as the most critical one for the transient overvoltage that can reach a value of twice the reference voltage. A higher insulation level (24 kV for cables, boards (fig. 5) and primary windings of the transformers) was then adopted for the equipment of the MV network whose operation voltage is anyway 15 kV. A 30 kV "cold-shrink" type insulation was adopted for MV voltage joints and terminations, representing a weak point of the system. Such joints have the peculiarity not to require in-field injections of resins or heating of thermosetting materials thus making the joint quality independent from the in-field laying activities. They are indeed composed of silicone rubber, pre-stretched by plastic spirals which allow the joints positioning around the cable; the progressive extraction of the spirals allows the joint to tighten around the cable and to perform a perfect sealing.

For the railway lines, whose orography imposes a considerable tunnel extension, the electric power demand amounts to about 20 MVA for each section of 25 km. This power demand level requires more frequent connections to the High Voltage Grid by means of dedicated 132/60 kV or 60/20 kV transformer substations (Supply Point - PdA). Therefore, taken into consideration the power ratings, the supply diagram has to consider a smaller reciprocal spacing of the electric cabins. In this regard a mention can be made of the international connection Turin-Lion of which the Base Tunnel (double track, double tunnel) reaches a length of about 56 km.

In this line typology there can be more than 100 transformer cabins. They are supplied by two medium voltage cable lines, one per track, in order to guarantee the independence between the supply systems of the two tunnels, as

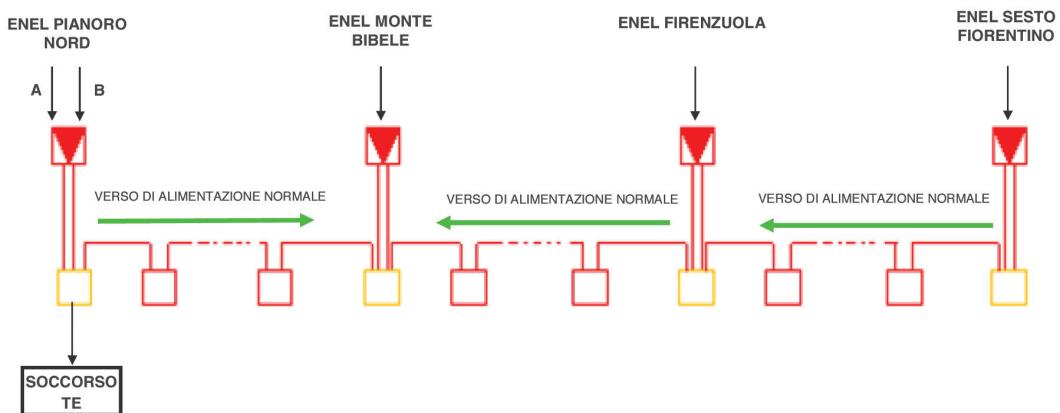


Fig. 4 - Schema a blocchi rete 15 kV tratta AV Bologna-FirenzeBO-FI in configurazione di esercizio normale. Block diagram of the 15 kV network of the HS Line Bologna-Florence in its normal operation configuration.



Fig. 5 - Quadro elettrico MT di cabina. MV board in cabin.

largati da spirali di plastica che permettono di posizionarli intorno al cavo; con l'estrazione progressiva della spirale il giunto si serra intorno al cavo realizzando una perfetta sigillatura.

Per le linee di valico, in cui per il contesto orografico la lunghezza dei tunnel è ragguardevole, l'entità della potenza elettrica da alimentare, circa 20 MVA per ogni tratto di 25 km, è tale da richiedere più connessioni alla rete di alta tensione, con sottostazioni di trasformazione dedicate a 132/20 kV o a 60/20 kV (Posto di Alimentazione - PdA). In questo caso, viste le potenze in gioco, lo schema di alimentazione deve prevedere cabine elettriche a distanza reciproca inferiore.

Si veda ad esempio la tratta internazionale Torino-Lione, in cui il tunnel di base (doppio binario, doppio forni-

one of them represents the escape way in case of accident in the other one.

Fig. 6 illustrates the HV/MV substations, the double MV supply lines (blue and green lines), some types of MV/LV cabins (red line for bypass and tunnel equipments; black dashed line for fire, signaling and the escape tunnels equipments; green dashed line for the supply system of the outdoor ventilation stations).

The cable line dimensioning is a direct consequence of the electric network management modalities in case of fault; indeed, the regulation requirement concerning the limited loss of plant sections, imposes the double supply (from two directions) of each line. In such case the most severe fault condition is the loss of the farthest point from the power source in normal configuration, just near the adjacent power source working as a backup.

This degraded configuration imposes to dimension the cable line to supply from one single source all the electric loads of a line section; of course the cable dimensioning has to consider even the fault occurring at the opposite side of the considered line section.

Having to ensure at all electric loads, in both conditions, a limited drop voltage usually equal to 4% of the nominal value, the dimensioning parameter is just the voltage drop at the end of the line. The service current of the cable line is then lower than its maximum current capacity because an acceptable voltage level has to be ensured at the end of the line section.

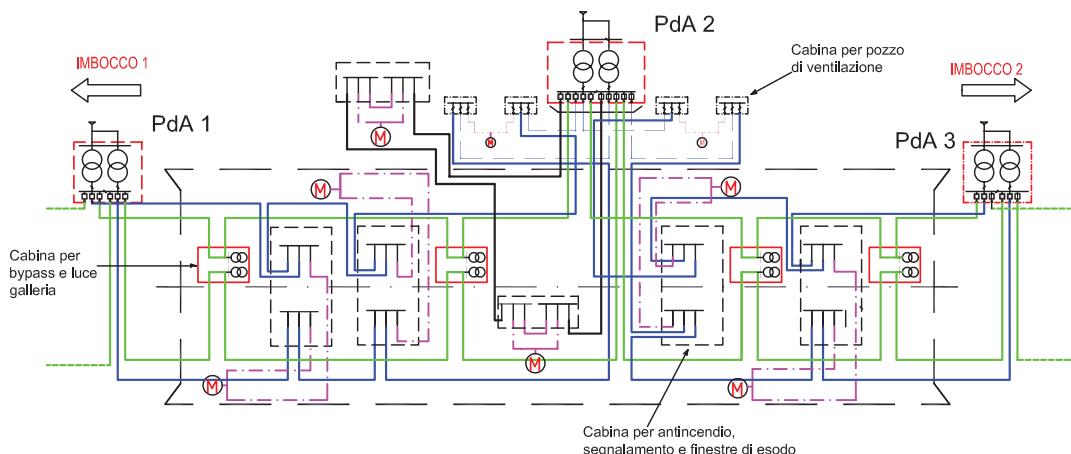


Fig. 6 - Schema elettrico generale per linea di valico. General electric diagram of a pass line.

SCIENZA E TECNICA

ce) raggiunge la lunghezza di circa 56 km.

In una tratta di questo tipo il numero di cabine di trasformazione può superare il centinaio, e le dorsali di media tensione sono doppie, una per ogni binario, al fine di garantire l'indipendenza tra le alimentazioni delle due gallerie, in quanto una delle due costituisce la via di fuga rispetto all'altra in caso di incidente.

In fig. 6 sono rappresentate le sottostazioni AT/MT, le doppie dorsali MT di alimentazione (colore blu e verde), alcune tipologie di cabine elettriche MT/BT (in rosso per alimentazione bypass e utenze di galleria, in nero tratteggiato per l'antincendio, segnalamento e finestre di esodo, e in verde tratteggiato per l'alimentazione delle centrali di ventilazione esterne).

Il dimensionamento delle linee elettriche in cavo è conseguenza diretta della modalità di gestione della rete in caso di guasto; infatti il requisito normativo di perdita limitata di tratti d'impianto, impone di poter alimentare ciascuna linea da due direzioni. In questo caso la condizione di guasto più severa è quella che prevede la perdita del punto più lontano dalla fonte di energia che alimenta in configurazione normale, immediatamente prima della fonte di energia contigua che funziona da riserva. Questa configurazione di degrado obbliga a dimensionare il cavo per l'alimentazione di tutti i carichi elettrici di una tratta da un lato solo, condizione che si può ribaltare in modo speculare se il guasto avviene dalla parte opposta.

Dovendo garantire a tutti i carichi elettrici, in entrambe le condizioni, una caduta di tensione limitata, per norma al 4% del valore nominale, il parametro dimensionante è proprio la caduta di tensione a fondo linea. Il cavo quindi lavora con una corrente al di sotto delle sue massime potenzialità, per garantire un valore accettabile della tensione a fondo linea. L'esercizio del cavo con corrente non elevata ne aumenta la durata di vita e riduce i conseguenti interventi manutentivi. Per l'installazione in galleria, l'isolante e la guaina dei cavi elettrici devono essere del tipo a bassissime emissioni di fumi e gas tossici e corrosivi in caso d'incendio (fig. 7), al fine di non compromettere la fuga delle persone in caso di emergenza, ed inoltre devono essere tali da non permettere di propagare l'incendio oltre il punto in cui si verifica l'incidente (Norme CEI 20-22, 20-37, 20-38).

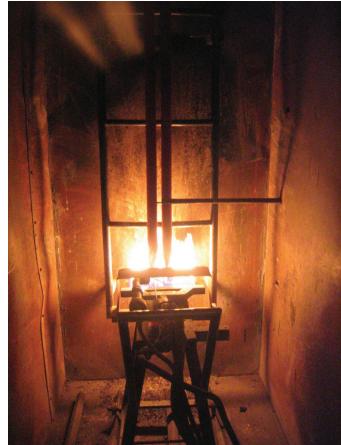


Fig. 7 - Prove di incendio su cavi elettrici di media tensione. *Fire tests on medium voltage cables.*

Cable's operation with low current increases its lifetime and consequently reduces the relevant maintenance activities. The cable insulations and sheaths for tunnel installations have to be of the "Very low emission of smoke and toxic and corrosive gases" type (fig. 7) in order not to compromise people's escape in case of fire emergency and moreover they have not to allow the fire propagation beyond the accident point (Standards CEI 20-22, 20-37, 20-38).

4. Transformer cabins

The electric cabins supplied by the medium voltage network have the function to transform and distribute the energy in their normal operation section and to disconnect and protect the connected cable lines. The electric



Fig. 8 - Trasformatori in resina MT/BT. *MV/LV resin transformers.*

SCIENZA E TECNICA

4. Cabine elettriche di trasformazione

Le cabine elettriche alimentate dalla rete di media tensione hanno la funzione di trasformare e distribuire l'energia nel proprio tratto di competenza e di sezionare e proteggere le linee in cavo afferenti; all'interno di esse si utilizzano quadri elettrici con isolamento generalmente di 24 kV, preferibilmente con sbarra divisa in due parti speculari, sezionabile per mezzo di un congiuntore, al fine di poter mettere fuori servizio una delle due semisbarre senza perdere la possibilità di alimentare le utenze collegate dalla semisbarra rimasta in servizio. Con tale architettura, utilizzando uno schema di alimentazione doppio radiale, ponendo fuori servizio metà cabin, non viene disalimentata alcuna utenza.

I trasformatori di potenza media/bassa tensione hanno in genere una taglia che va da 250 a 630 kVA e sono isolati in resina (fig. 8). Con l'isolamento in resina si evita di dover prendere quelle precauzioni necessarie per i trasformatori con isolamento in olio, derivanti dalla possibilità di perdita dell'olio stesso (vasca di contenimento) o di innescio di un eventuale incendio (impianto di spegnimento). Infatti la resina utilizzata per questo scopo possiede la caratteristica di classe di comportamento al fuoco F1, ossia è autoestinguente e sottoposta ad incendio non emette sostanze tossiche e fumi opachi. Tali caratteristiche rendono questi trasformatori particolarmente indicati per l'installazione in galleria.

5. Distribuzione a 1 kV

A partire dalle cabine elettriche, in funzione del tipo di galleria, si utilizzano livelli di distribuzione sottraesi alla rete in media tensione, che provvedono ad alimentare i vari sottosistemi. Tipicamente, oltre al consueto livello di bassa tensione 400/230 V che riesce a coprire un raggio d'azione di circa 100±300m, è d'uso comune in ferrovia realizzare circuiti con tensione di 1 kV per le utenze distanti oltre 1 km fino a circa 5 km dalla cabina elettrica di trasformazione.

Il sistema di alimentazione a 1 kV per le utenze di sicurezza in galleria è provvisto di quadri di sezionamento e trasformazione, installati ogni 250 m (fig. 9), che provvedono ad alimentare a 230V le utenze installate lungo la galleria, come ad esempio l'illuminazione di emergenza, la diffusione sonora, gli help-point e le radio-telecomunicazioni [4]. La fonte di alimentazione dei circuiti a 1 kV è anch'essa doppia, in quanto essi possono essere alimentati sia da un verso che da quello opposto, a partire da due cabine elettriche contigue, del tipo sopra descritto.

6. Sistema di selettività logica e riconfigurazione

Il requisito di affidabilità dell'alimentazione elettrica,

boards installed in the cabins have usually a 24 kV insulation level and they are preferably equipped with a two-section bus-bar that can be disconnected by means of a switch disconnector. This arrangement allows to put out of service one of the two half-busbars without losing the possibility to supply the equipments connected to the other operating one. Such architecture implements a double-radial supply configuration; therefore all the equipments are supplied even in the case that one half-cabin is put out of service.

The medium/low voltage power transformers (fig. 8) are resin insulated and their rating usually ranges from 250 kVA to 630 kVA. The utilization of resin insulated transformers makes not necessary the adoption of particular precautions such as the construction of a specific tank to contain the possible oil leakages or the installation of a fire extinguishing plant. Indeed the type of resin used in these applications is characterized by a fire behavior class F1, meaning that it is auto-extinguishing and doesn't emit toxic gases and smokes under fire condition. These characteristics make these transformers particularly suitable for tunnel installation.

5. Distribution at 1 kV

Different distribution levels, depending on the type of tunnel, are used to supply the various subsystems derived

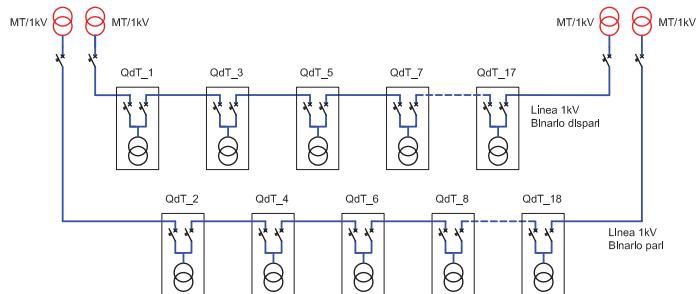


Fig. 9 - Schema elettrico circuiti a 1 kV. Electric diagram of the 1 kV circuits.

from the medium voltage network. Beyond the usual low voltage level 400/230 V that is able to cover a distance of about 100±300 m, 1 kV circuits are commonly used in the railway field for equipments whose distance from the transformation cabin ranges from 1 km to about 5 km.

The 1 kV power supply system for safety equipments in tunnel is equipped with disconnection and transformer boards, installed every 250 m (fig. 9). These electric boards have the duty to supply the 230V equipments along the tunnel such as for instance the emergency lighting equipment, the sound diffusion system, the help-points and the radio-communication devices.

SCIENZA E TECNICA

richiesto dalle normative, impone di dotare la rete elettrica di una sistema di protezione che in caso di guasto seziona la linea elettrica solamente a monte e a valle del punto in cui si verifica l'anomalia, e che ripristini in tempi rapidi l'alimentazione delle sezioni non affette da guasto. La complessità delle reti elettriche di alimentazione impone che questa funzione sia automatica in quanto una ricerca manuale del guasto richiederebbe tempi non compatibili con le situazioni di emergenza.

Per le reti elettriche del tipo sopra descritto non è possibile basare, come normalmente avviene nei casi comuni, la selettività del sistema di protezione sul valore della corrente di guasto, decrescente in funzione della lunghezza e quindi dell'impedenza di linea, in quanto i punti di guasto da discriminare sono vicini e quindi non c'è variazione significativa del valore della corrente tra due sezionamenti contigui. Inoltre, dato che ciascuna linea può essere alimentata da due direzioni opposte, il valore di taratura di una protezione sarebbe differente nelle due configurazioni, in quanto, preso in esame un certo punto di guasto, alimentato da un lato, esso avrebbe corrente di guasto superiore al punto successivo, mentre viceversa alimentando in senso opposto avrebbe un valore di corrente inferiore. Non risulta conveniente neanche utilizzare protezioni cronometriche in quanto le tarature andrebbero regolate con tempi di intervento crescenti da valle verso monte, operazione che condurrebbe a maggiori tempi di estinzione per guasti in prossimità della cabina elettrica comportando eccessive sollecitazioni termiche dei componenti elettrici.

Pertanto si ricorre ad una sistema di protezione delle linee elettriche con blocco logico e telescatto.

La funzionalità di tale sistema è basata su protezioni elettriche indirette a microprocessore (fig.10), dotate in genere di quattro canali di comunicazione, di cui due di ricezione (RX), due di trasmissione (TX); ogni protezione è collegata con un canale TX e un RX ai rispettivi canali della protezione a monte, e con i restanti due ai rispettivi canali della protezione a valle. In tale configurazione nel momento in cui la protezione viene attivata da una sovraccorrente, rilevata attraverso trasformatori di misura, parte un segnale di blocco allo scatto dalla TX verso la RX della protezione precedente ed un segnale di blocco dalla TX verso la RX della protezione successiva. Pertanto ove in presenza di protezioni comuni si avrebbe l'apertura di tutti gli interruttori dalla cabina elettrica fino al punto di guasto, con quelle a selettività logica la protezione che riceve due segnali di blocco non effettua l'apertura del circuito.

Gli interruttori che si trovano nella condizione logica di aprire il circuito, sono solamente quello a monte e quello a valle del guasto, in quanto solo questi due ricevono un unico segnale, condizione che provoca l'apertura dopo un tempo programmato.

Infatti la protezione a monte del guasto riceve un solo segnale di blocco dalla protezione precedente,

Even the power source of the 1 kV circuits is redundant as they can be supplied from both directions by two adjacent cabins, as above described.

6. Logic selectivity and reconfiguration system

The power supply reliability requirement set by the relevant standards, imposes to equip the electric network with a suitable protection system that is capable to disconnect the line only upstream and downstream the fault point. Moreover it has to be capable to restore quickly the operation of the line sections not affected by fault. The complexity of the modern power supply networks requires an automatic fault shooting function because a manual function would require too long times with respect to the needs of the emergency situations.

The protection system selectivity of the above-described electric networks cannot be based, as in the common cases, on the value of the fault current that decreases with the line length and its impedance. Indeed, the fault points to discriminate, are close to each others and consequently there is not a significant variation of the current value between two adjacent circuit breakers.

Moreover the protection calibration value would be different in the two configurations as each line can be supplied from two opposite directions. Indeed, taken into consideration a generic fault point supplied from one specific direction, it would have a higher fault current than the current at the subsequent point while it would have a lower fault current if supplied from the opposite side.

It is not even convenient to install timing protections as they should be calibrated with increasing tripping times from downstream to upstream; this would lead to higher extinction times for faults near to the electric cabin thus determining excessive thermal stresses in the electrical components.

So it is then used a protection system of the electric lines with logic blocking and remote tripping.

The functionality of this system is based on microprocessor indirect protections (fig. 10), equipped with four communication channels, two for receiving (RX) and two for transmitting (TX); each protection is indeed en-



Fig. 10 - Protezioni elettroniche indirette a microprocessore. Microprocessor indirect protections.

SCIENZA E TECNICA

mentre quella a valle del guasto, non attivandosi in quanto non coinvolta dal guasto, non invia segnali e riceve il segnale di blocco da quella precedente e quindi si apre dopo il tempo programmato (telescatto).

Il circuito a valle del guasto sezionato risulta ora disalimentato, per cui il sistema di supervisione della galleria provvede a rialimentarlo dalla parte opposta. Quest'ultimo processo è chiamato riconfigurazione automatica e completa il processo di selezione del guasto e rialimentazione la cui durata totale è dell'ordine di grandezza di qualche secondo.

Il sistema sopra descritto, nei suoi principi generali, si applica sia alle reti in media tensione, sia a quelle a 1kV. Nelle figg. 11 e 12 sono rappresentati i due stati di un circuito a 1 kV, durante il normale esercizio e dopo il sezionamento e rialimentazione dal lato opposto.

La realizzazione dei sistemi a selettività logica necessita di un collaudo molto accurato sia in fabbrica che dopo il completamento dell'installazione in campo. Infatti sia in fase di montaggio in fabbrica, sia in fase d'installazione in galleria, visto l'elevato numero di collegamenti da effettuare, è statisticamente possibile che alcuni vengano invertiti. In tale eventualità, solamente quando si dovesse verificare il vero guasto, si verrebbe a scoprire che gli interruttori che si aprono sono ben più di quelli a monte e a valle del guasto. Pertanto è di fondamentale importanza effettuare le simulazioni di guasto, del sistema assemblato in fabbrica e, successivamente, realizzare in campo veri e propri cortocircuiti per verificare il corretto funzionamento del sistema.

In caso di linee molto lunghe o con trasformatori di potenza elevata, condizione che generalmente si verifica nelle reti di media tensione, il processo di energizzazione della linea potrebbe essere reso critico dal fenomeno delle correnti di magnetizzazione dei trasformatori. Infatti tali correnti, seppur di brevissima durata (due o tre cicli a

dowed with two couples (TX-RX) of channels; the former is connected to the correspondent couple (TX-RX) of the upstream protection, the latter is similarly connected to the downstream protection. According to this arrangement, a block signal is sent when the protection is activated by an over-current detected by measure transformers; in particular a tripping block signal is sent from the two TX channels of the activated protection towards respectively the RX channel of the upstream protection and the RX channel of the downstream one.

Therefore, while in the case of common protections all the circuit breakers from the cabin to the fault point would open, the logic selectivity protection system is designed in a way that the protections receiving two block signals, don't activate the circuit opening.

Only the circuit breakers immediately preceding and following the fault point are in the logic condition to open the circuit as only these two breakers receive one sole signal thus activating the circuit opening with a planned delay.

The protection immediately preceding the fault point receives indeed one sole block signal from the upstream protection while the protection following the fault point is not activated as not involved in the fault; therefore it doesn't send any signal and it receives the block signal from the preceding protection thus opening with a planned delay (remote tripping).

The circuit following the disconnected fault section is consequently not supplied and the tunnel supervision system re-supplies it from the opposite side. This process is named automatic reconfiguration and completes the fault selection and re-supply in about few seconds.

Fig. 10 shows two microprocessor protection devices used to implement logic selectivity systems.

The system above described in its main characteristics can be applied to both medium voltage and 1-kV net-

NLF = Nicchia per quadro di sezionamento

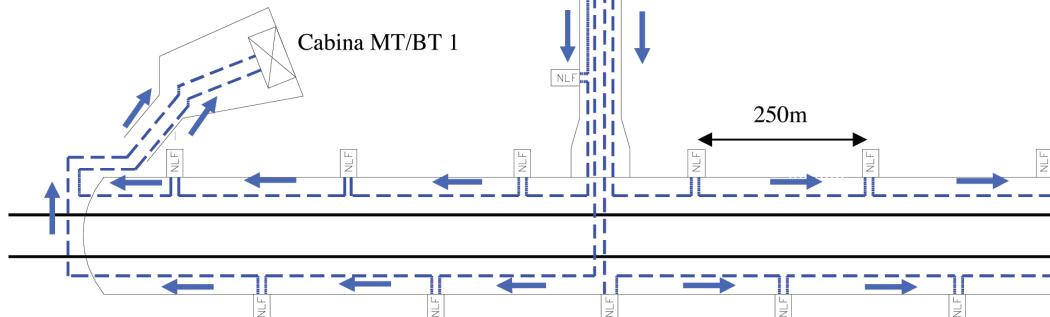


Fig. 11 - Schema di alimentazione a 1 kV con verso di alimentazione, in configurazione normale. 1-kV power supply diagram with supply direction in normal configuration.

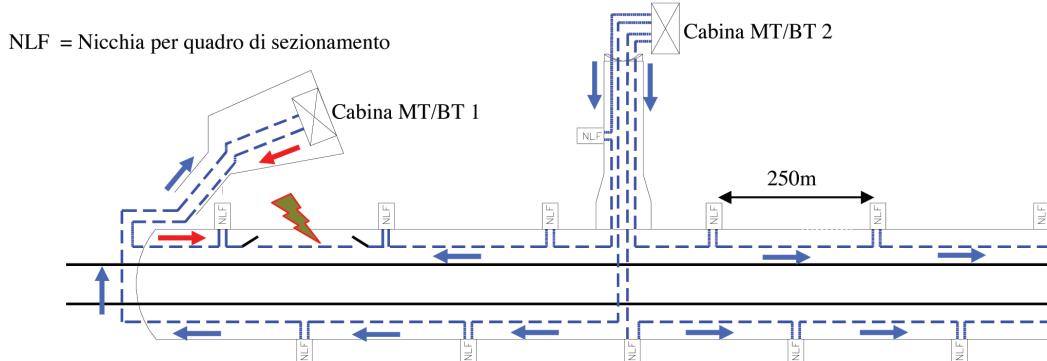


Fig. 12 - Schema di alimentazione a 1 kV con verso di alimentazione, dopo sezionamento del guasto e riconfigurazione. 1-kV power-supply diagram with supply direction after fault disconnection and reconfiguration.

50 Hz) possono essere di valore paragonabile a quelle che attivano le protezioni del distributore di energia (8÷10 volte la corrente nominale) causando scatti intempestivi. Quindi è necessario calcolare il valore della corrente magnetizzante nel tempo $I_i(t)$ con la seguente formula:

$$I_i(t) = (I_{oi}/1,41) \cdot e^{(-t/\tau)}$$

I_{oi} : corrente di picco d'inserzione;
 τ : costante di tempo.

Si riporta (fig. 13) la curva della corrente magnetizzante sul grafico che rappresenta le soglie d'intervento di massima corrente delle protezioni per verificare che non vi siano intersezioni e che la curva dell'inserzione sia tutta al di sotto di quelle che provocano l'attivazione delle protezioni. Verificata questa condizione si definisce la potenza massima inseribile contemporaneamente e di conseguenza si individua il numero di trasformatori che si possono energizzare contemporaneamente, ossia il "gradino".

Inoltre è necessario ripetere la verifica con le tarature degli interruttori generali che il distributore energia elettrica di zona comunita solamente al momento della sottoscrizione del contratto di fornitura.

Il sistema di supervisione provvede quindi ad rialimentare la linea "a gradini", ossia chiude in sequenza, con brevi intervalli di ritardo, i tratti di linea successivi; in tal modo l'energia magnetizzante di ciascun "gradino" è compatibile con la taratura delle protezioni.

7. Sistema di comando e controllo

La complessità e l'estensione delle reti elettriche di cui si è fin qui trattato ha fatto nascere l'esigenza di realizzare un apparato di automazione, telecontrollo e telecomando, sia per rendere rapide le reazioni del sistema agli eventi critici, sia per ottimizzare l'esercizio e la manutenzione, attività che sono a carico del gestore.

works. Figg. 11 and 12 illustrate the two states of a 1 kV circuit, during the normal operation and after a line sectioning and re-supply from the opposite side.

The implementation of a logic selectivity system needs a very accurate inspection test during the construction phase and after the final installation activities. It is indeed statistically possible that some of the innumerable connections can be inverted during the factory assembling phase and the in-tunnel installation phase.

In such case, when a fault occurs, not only the circuit breakers immediately preceding and following the fault point will be driven to open. So it is of great importance to execute fault simulations on the in-plant assembled system and subsequently, after the in-field installation, to make specific short-circuit tests to verify the correct operation of the system.

In the case of very long lines or high power transformers, as it usually occurs in the medium voltage networks, the line energization process could be critical due to the phenomenon of the transformer inrush currents. These currents, even though very short in duration (two or three cycles at 50 Hz), can be comparable to the current ratings driving the energy provider protections (8÷10 times the nominal current) thus causing untimely tripping phenomena.

Therefore it is necessary to calculate the inrush current value (time function) with the following formula:

$$I_i(t) = (I_{oi}/1,41) \cdot e^{(-t/\tau)}$$

I_{oi} : peak inrush current;
 τ : time constant.

The inrush current diagram is drawn (fig. 13) over the graph representing the protection tripping thresholds for maximum current. This is made in order to verify that the inrush curve is always below the protection tripping curves. The absence of intersections has to be even checked. Once this condition is verified it is possible to establish the maximum contemporary inrush power and consequently to de-

SCIENZA E TECNICA

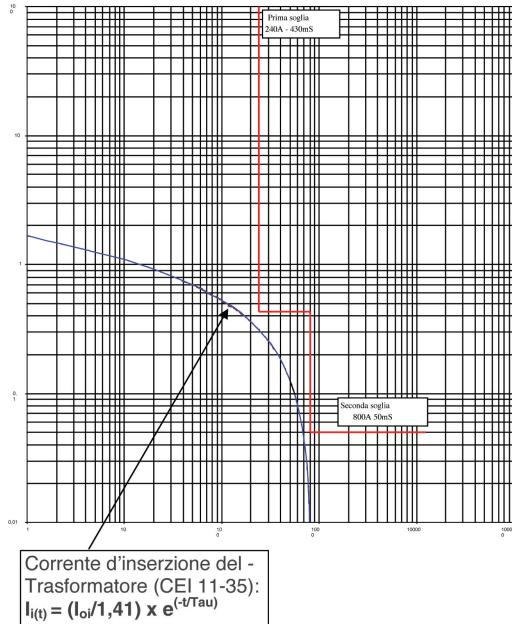


Fig. 13 – Coordinamento tra tarature protezioni e corrente d'inserzione dei trasformatori. *Coordination between protection setting and insertion current of the transformers.*

Per realizzare l'automazione di una rete elettrica si utilizza lo SCADA, acronimo proveniente dall'inglese "Supervisory Control And Data Acquisition", un sistema informa-

termine the number of transformers that can be contemporaneously inserted (called power insertion step).

It is moreover necessary to repeat the verification with the calibrations of the general circuit-breakers that the energy provider communicates at the supply contract subscription.

The supervision system re-supplies the line step by step, closing in sequence, with short delay intervals, the subsequent line sections; in this way the magnetizing energy of each "step" is made compatible with the protection calibration.

7. Control and command system

The complexity and extension of the above described electric networks led to implement an automation and remote-control system aiming both to speed up the system reaction to critical events and to optimize the operation and the maintenance activities of the network manager.

The automation of the electric network is carried out by a SCADA information system, acronym of "Supervisory Control And Data Acquisition", that is a distributed information system for the equipment electronic monitoring (fig. 14). The SCADA system functioning is based on the connection of suitable PLCs, installed in each disconnection point of the electric network, by an optical fiber ring Ethernet network.

The PLCs acquire from the field measures, alarms and states of the circuit breakers (opened, closed, tripped) and they execute the remote-commands received by the Supervision system. The SCADA system is a software in-

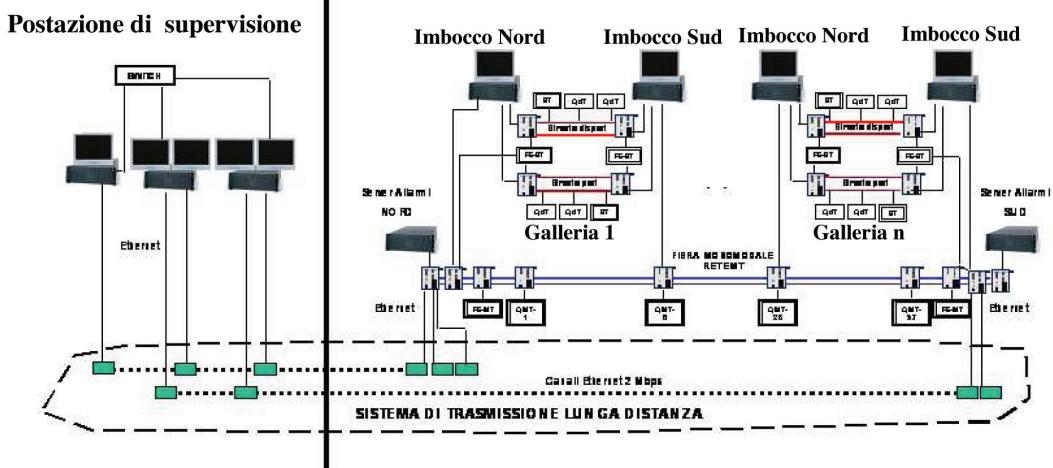


Fig. 14 - Rete di supervisione di tratta in galleria e postazione di supervisione remota. *Supervision network of a tunnel section and remote supervising outstation.*

SCIENZA E TECNICA

tico distribuito per il monitoraggio elettronico del sistema fisico (fig. 14).

Il sistema si realizza collegando mediante una rete ethernet in fibra ottica ad anello i controllori programmabili industriali (PLC) installati in corrispondenza di ogni punto di sezionamento della rete elettrica. I PLC acquisiscono dal campo gli stati degli interruttori (aperto, chiuso, scattato), le misure, gli allarmi ed attuano i telecomandi provenienti dalla supervisione. Lo SCADA è un programma installato su Personal Computer che acquisisce e rende visibili, mediante pagine video, i dati provenienti dai PLC di campo e dai PLC coordinatori.

Le pagine grafiche rappresentano gli schemi elettrici videosinottici e lo stato degli organi di sezionamento (fig.

stalled on a Personal Computer that acquires and visualizes on video pages preset data coming from the in-field PLCs and the coordinator PLCs.

The video pages reproduce the electric video-synoptic schemes and the states of the disconnecting equipment (fig. 15). The states of the monitored equipment are represented on an intuitive user-friendly interface by different animated colors, each one with a definite meaning. The electric network components can be remote-controlled positioning the "mouse" slider over the corresponding symbol and selecting the require option.

The correspondence between video representation and real state of the in-field equipment is achieved by polling the whole network every few fractions of second. In order

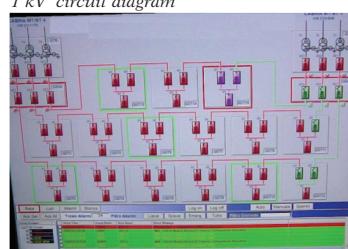
Rete in media tensione
Medium Voltage network



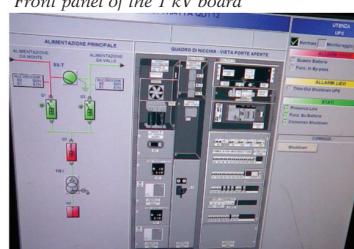
Circuiti a 1 kV
1 kV circuits



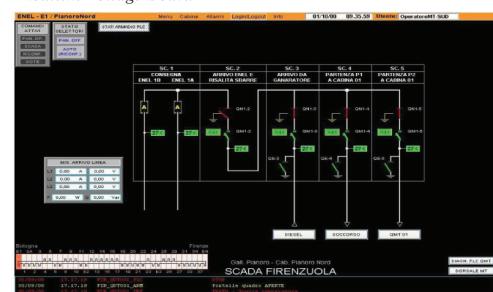
Schema generale a 1 kV
1 kV circuit diagram



Fronte quadro a 1 kV
Front panel of the 1 kV board



Quadro in media tensione
Medium Voltage Board



Schema quadro a 1 kV
Circuit diagram of the 1 kV board



Quadro generale di bassa tensione
Low Voltage main switch board

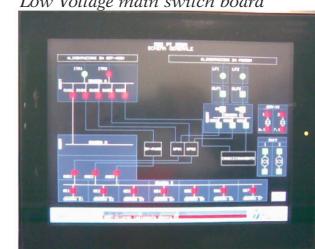


Fig. 15 – Esempio di pagine video di sistemi SCADA. Example of video pages of SCADA systems.

SCIENZA E TECNICA

15). Mediante un'interfaccia intuitiva e d'uso abituale per l'utente sono rappresentati gli stati dei componenti monitorati, che vengono animati con colori differenti, ciascuno con un significato prestabilito. I componenti della rete elettrica fisica possono essere telecomandati posizionando il cursore del mouse sul simbolo corrispondente e selezionando l'opzione desiderata.

Al fine di avere la corrispondenza tra rappresentazione video e lo stato degli organi in campo, viene effettuata l'interrogazione dell'intera rete in tempi dell'ordine di frazioni di secondo, e per non appesantire il traffico dei dati, ciascun livello gerarchico della rete deve consentire di passare l'informazione al livello superiore solamente in caso di eventi significativi o critici.

Come per la rete elettrica, anche per quella di supervisione, la perdita di un elemento non deve causare la mancata funzionalità dell'impianto, motivo per cui il sistema è ridondato.

La rete di comunicazione in fibra ottica con architettura ad anello consente di ripristinare il collegamento tra i vari nodi della rete a seguito di una interruzione dovuta alla rottura di una fibra ottica, mediante l'utilizzo di "switch" in ogni punto di sezionamento della fibra ottica; i PLC coordinatori, installati in genere nel fabbricato tecnologico posto a ciascun immbocco della galleria, sono in configurazione ridondata "master/slave". Il PLC "master" è quello che realmente supervisoria la rete, mentre il PLC "slave" è in "stand-by", sincronizzato con il "master", condividendo tutte le informazioni. In caso di malfunzionamento del "master", lo "slave" assume il controllo della rete.

Una importante funzionalità del sistema SCADA è la registrazione degli eventi; infatti tutti i componenti della rete vengono sincronizzati con una marcatura temporale, la cui risoluzione è il millisecondo e quindi ciascun evento rilevato viene registrato con l'ora istantanea a cui si è verificato. È possibile in tal modo ricostruire i fenomeni di guasto nell'esatta sequenza in cui si sono verificati, operazione non facile nei fenomeni elettrici che, come noto, si svolgono in tempi rapidissimi. Per sincronizzare la rete con tale precisione è opportuno utilizzare il riferimento orario del sistema GPS (Ground Positioning System) che genera impulsi che vengono acquisiti dai componenti di campo.

Con l'archivio storico degli eventi è possibile effettuare la sostituzione programmata di singoli componenti per i quali sono stati registrati ripetuti malfunzionamenti o per quelli che hanno raggiunto la condizione di fine del ciclo di vita.

Relativamente alle reti di media tensione, che costituiscono il sistema principale per la distribuzione di energia, oltre al sistema di automazione, è opportuno affiancare un sistema di telecomando manuale che sia monitorato da personale 24 ore su 24 per risolvere eventi critici a cui il sistema automatico non riesca a provvedere. A tale scopo il sistema SCADA viene interfacciato con la postazione di telecomando della trazione elettrica (DOTE) che è sempre presidiata, sulla quale viene visualizzata l'intera rete

to simplify the data communication, each hierarchical level of the network is allowed to transfer data to the higher level only in case of significant or critical events. Even the supervision system is redundant, like the power supply system, as the loss of one single element has not to cause any malfunctioning of the installation. The optical fiber communication network has a ring architecture that allows to restoring the connection between the different network nodes following to an optical fiber interruption; such aim is achieved by installing a suitable "switch" in each optical fiber disconnection point.

The PLCs coordinator, usually installed in the technological buildings at the mouths of the tunnels, have a "master/slave" redundant configuration. The "master" PLC has the duty to supervise the network while the "slave" PLC is in a "stand-by" condition, synchronized with the "master" PLC, and shares with it all the data. In case of fault of the "master" PLC, the "slave" PLC takes the control of the network.

An important function of the SCADA system is the events recording function that allows to synchronizing all the network components with a time marking whose resolution is one millisecond; each detected event is then recorded with the instantaneous time at which it has occurred. It is consequently possible to reconstruct the fault phenomena in the same sequence they have occurred; this event reconstruction is not easy for the electric phenomena that, as well known, take place in very short times. This precision synchronization of the network, requires the utilization of the GPS (Ground Positioning System) time reference that generates pulses acquired by the in-field components.

The historical event directory allows to implementing a scheduled replacement of single components for which repeated faults have been recorded and the components that have reached the end of the life cycle.

For the medium voltage networks, representing the main energy distribution system, it is advisable to integrate the automation system with a manual remote control system that is adequately manned for 24/7 aiming to solve the critical events that the automatic system is not able to solve.

For this purpose, the SCADA system is interfaced with the electric traction remote-control outstation (DOTE), manned for 24/7, on which the whole medium voltage network and its operation states are visualized. The DOTE operator can switch the electric network controls in manual mode and can then configure the power supply network to face specific needs; for instance he can re-supply line sections following to untimely tripping or put out-of-service some components for maintenance needs.

8. Power generators for medium voltage networks

The utilization of power generators in Medium Voltage

SCIENZA E TECNICA

di media tensione e il suo stato di funzionamento. L'operatore del DOTE commutando i comandi della rete elettrica in manuale può quindi configurare l'alimentazione per sopperire ad esigenze particolari, come per esempio a rialimentare tratti di linea per scatti intempestivi o a portare fuori esercizio alcuni componenti per effettuare operazioni di manutenzione.

8. Gruppi elettrogeni su rete media tensione

L'applicazione dei gruppi elettrogeni sulle reti di media tensione consente, con l'inserimento di pochi elementi in punti concentrati di più facile accesso per le squadre di manutenzione, di aumentare il livello di affidabilità e autonomia dell'alimentazione delle utenze essenziali lungo linea.

Il sistema è costituito da un gruppo elettrogeno che produce energia in bassa tensione e che, tramite trasformatore elevatore, sezionato e protetto da quadri posti a monte e a valle, permette di erogare energia sulla rete d'utente in media tensione (fig. 16).

Tale scelta va ponderata in relazione alla specificità territoriale della linea, lunghezza delle gallerie e tipologie di carichi elettrici.

In particolare nelle tratte con lunghe gallerie l'adozione dei gruppi elettrogeni che rialimentano la linea di media tensione, consente di ottemperare alle specifiche tecniche del segnalamento, che prevedono un gruppo elettrogeno come riserva di alimentazione senza dover installare all'interno di locali tecnologici in caverna un generatore elettrico con motore a combustione interna, dotato di relativo serbatoio di gasolio, che aumenterebbe il carico d'incendio della galleria, con l'ulteriore notevole problema di smaltire i fumi di scarico della combustione.

I gruppi elettrogeni oltre a sopperire alle esigenze elettriche durante un black-out possono essere utilizzati anche nel caso in cui il distributore elettrico, per operazioni di manutenzione o in caso guasto sulla propria rete, renda indisponibili due fonti di alimentazione adiacenti, anche se per poche ore (una fonte in manutenzione, una fonte in guasto). In tale eventualità, normalmente, i sistemi di batteria in tampone esaurirebbero la loro energia causando il fuori servizio di tutte le utenze disalimentate dalla rete, con ricadute sui tempi necessari per riattivare ciascun impianto. In presenza dei gruppi invece tali problemi non sussistono, in quanto le utenze rimangono sempre alimentate durante il fuori servizio del distributore.

La prima Tratta in cui, in base alle motivazioni sopra esposte è stato ingegnerizzato l'inserimento di gruppi elettrogeni che erogano sulla rete di media tensione in alternativa al distributore di zona, è la Bologna-Firenze Alta Velocità. Per tale linea, con l'adozione di soli quattro gruppi concentrati nei punti di adduzione ENEL (fig. 17), si garantisce l'autonomia di alimentazione al segnala-

nements allows to increasing the reliability and the autonomy level of the essential equipments along the line. This target is achieved with the introduction of few elements in concentrated points that are easily accessible to the maintenance staff.

This backup supply system is composed of a low voltage power generator whose voltage level is raised by an elevation transformer, disconnected and protected by upstream and downstream boards, supplying the user's network at Medium Voltage (fig. 16).

This choice has to be made on the base of the territorial peculiarities of the line, the length of the tunnels and the typology of the electric loads.

In particular, the adoption of power generators as backup supply of the medium voltage network in the long tunnels allows to satisfying the signaling technical specifications that require a power generator as supply backup. So it is not necessary to install a power generator with an internal combustion engine and the relevant gas oil tank in the tunnel technological environments. Indeed this would increase the tunnel fire load and would introduce the problem of the flue gas disposal.

The power generators also can be used in case of black-out and in case of not availability for maintenance works of two adjacent energy provider's sources or faults on its network, even if for few hours (one source in maintenance, the other one in fault condition). In this eventuality the buffer battery systems would soon exhaust their energy thus causing the out of service of all the equipments supplied by the network; this would certainly affects the times required for the reactivation of each single plant. If power generators are installed, such problems don't occur as the equipments are always supplied during the out-of-service of the power energy provider.

The Bologna-Florence railway line is the first High Speed line where power generators have been installed to supply the medium voltage network in case of unavailability of the area power energy provider. In the Bologna-Florence case the installation of only four power generators, concentrated in the Enel supply points (fig. 17), guarantees the supply autonomy of the signaling equipment without the necessity to install eight power generators, four of which in tunnel. Moreover the power generators allow to maintaining the power supply of the auxiliary and lighting services thus making it possible a quick service restoration at the return of the energy following to a black-out event.

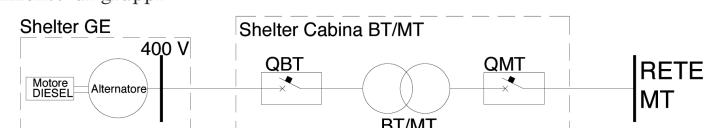


Fig. 16 - Schema elettrico del generatore elettrico con trasformatore elevatore BT/MT.
Electric diagram of a power generator and the associated LV/MV elevator transformer.

SCIENZA E TECNICA

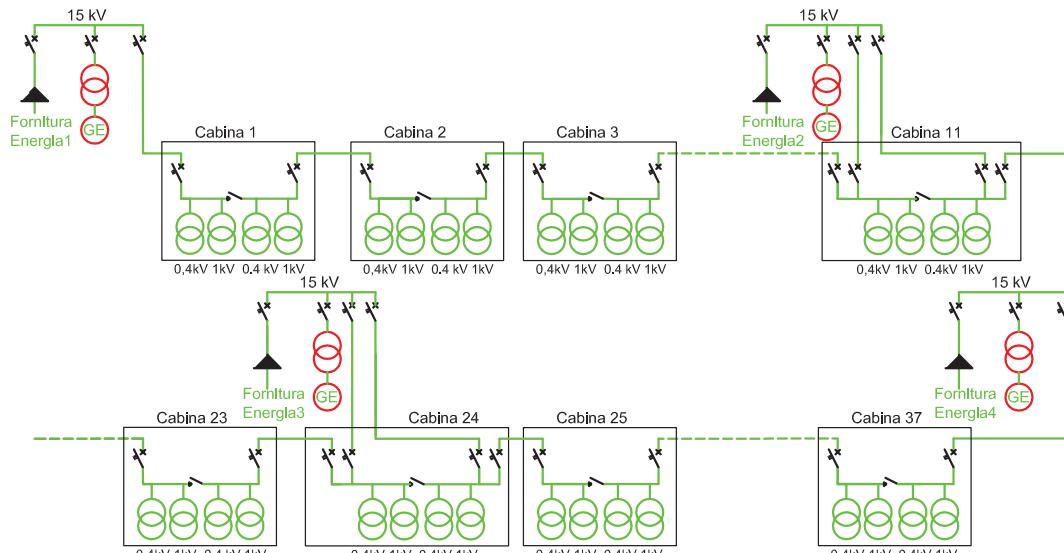


Fig.17 - Schema elettrico con gruppi elettrogeni che erogano su rete elettrica MT. Electric diagram with power generators supplying the MV network.

mento senza dover ricorrere a otto gruppi elettrogeni distinti, di cui quattro da installare in galleria; inoltre con gli stessi gruppi si è data la possibilità del mantenimento dell'alimentazione dell'illuminazione e dei servizi auxiliari che in caso di black-out consente un pronto ripristino dell'esercizio al ritorno dell'energia.

Un vincolo progettuale da rispettare è quello di evitare il parallelo tra gruppo elettrogeno e la rete elettrica del distributore.

Il parallelo tra l'alimentazione proveniente da gruppo elettrogeno e quella da distributore di zona è vietata dalle norme contrattuali della fornitura di energia, pertanto nel quadro elettrico in cui le due fonti di energia si inseriscono, è necessario prevedere interblocchi elettrici e meccanici per evitare un'errata manovra manuale dal fronte del quadro. Inoltre anche sul sistema SCADA, che automaticamente provvede a sostituire la fonte di energia mancante con quella autonoma, la sequenza delle manovre effettuabili non permette che la configurazione del parallelo sia ottenibile.

In fig. 18 è riportata la vista d'insieme di uno dei gruppi elettrogeni della Bologna-Firenze con installazione in container; in fig. 19 sono mostrati i dettagli del motore e del serbatoio di gasolio.

9. Integrazione e coesistenza tra gli impianti di distribuzione elettrica e gli impianti di trazione elettrica

Gli impianti di distribuzione elettrica in ambiente fer-



Fig.18 - Gruppo elettrogeno in container con cabina per trasformatore elevatore. Power generator in container with elevator transformer cabin.

One of the design constraints imposes to avoid the parallel of the power generator and the electric network of the energy provider. This parallel is forbidden by the supply's contract rules; therefore the electric boards supplied by the two considered power sources have to be equipped with electric and mechanic blocks aiming to avoid any incorrect manual operation from the front panel of the board. Even the operation sequence that can be driven from the SCADA system, that has the duty to replace automatically the main power source with the autonomous one, doesn't allow the parallel configuration. Fig. 18 shows the overall view of a power generator in container



Fig. 19 – Particolari del motore a combustione interna e relativo serbatoio di gasolio. *Details of an internal combustion engine and the relevant gas oil tank.*

roviario presentano la peculiarità di dover coesistere e a volte integrarsi con gli impianti di trazione elettrica che alimentano i treni. Tale coesistenza comporta analisi e verifiche sui seguenti aspetti:

- tensioni indotte per parallelismo;
- impianti di terra;
- livelli d'isolamento delle apparecchiature.

Per le linee ferroviarie a 25 kV c.a., anche nel normale esercizio, sono indotte tensioni sui conduttori che si trovano vicino alla sede ferroviaria in ragione della lunghezza di parallelismo [3]. Risulta pertanto fondamentale in funzione dei risultati di calcoli ed analisi, individuare gli opportuni provvedimenti quali il sezionamento degli schermi dei cavi in tratte di opportuna lunghezza (ad esempio in corrispondenza dei giunti), oppure la loro messa a terra bilaterale verificando la compatibilità con le eventuali correnti condotte.

Ulteriore condizione alla coesistenza tra i due impianti è la verifica delle tensioni di passo e contatto ai sensi della Norma Europea CEI EN 50122 [5] che porta a considerare, in funzione delle diverse tipologie di impianti, le problematiche connesse alla loro coesistenza.

Nel caso di collegamento degli impianti di terra dei due sistemi è necessario determinare le ricadute sul dimensionamento dell'impianto di terra dell'impianto di distribuzione elettrica che è interessato dalle correnti di corto circuito della trazione e sull'isolamento delle apparecchiature sottoposte alla conseguente sovratensione transitoria. Tali sovratensioni sono significative per le linee a 25 kV e vengono limitate con l'adozione di un conduttore interrato disposto lungo linea (dispersore lineare) per disperdere la corrente di cortocircuito e per ridurre sensibilmente i potenziali di terra.

Un esempio applicativo recente è stato la Tratta ad Alta Velocità Bologna-Firenze in cui, vista la promiscuità tra i due sistemi, i due impianti di terra sono stati collegati.

installed along the Bologna-Florence line; fig. 19 shows the details of the engine and the gas oil tank.

9. Integration and coexistence between electric distribution plants and electric traction installations

The railway distribution plants have to coexist and sometimes to be integrated with the electric traction installations for the train power supply. Such coexistence requires analyses and verifications on the following aspects:

- induced voltages (for parallelism);
- grounding systems;
- insulation level of the equipments.

The railway lines electrified at 25 kV a.c. generate induced voltages on the conductors running close to the railway platform [3]. Induced voltages are proportional to the parallelism length and they occur even in normal operation.

It is then important to adopt suitable provisions that depend on the calculation and analysis results. Some possible protection provisions consist in the disconnection of the cable shields, thus forming sections of suitable length (for instance the disconnection could be executed by the joints), or the bilateral shield grounding subject to verification of compatibility with the conducted currents.

One further condition to guarantee the coexistence of the two installations concerns the verification of the step and contact voltages according to the European Standard EN 50122 [5] that analyses the coexistence problems for the different plant typologies.

In case of connection of the grounding systems of the two considered plants it is necessary to determine the effects of this connection on both the dimensioning of the grounding system of the distribution network and the insulation level of the equipment. The grounding system of the distribution network is indeed crossed by the traction short-circuit currents and the equipment is affected by the consequent transient overvoltages.

Such overvoltages are significant for the 25 kV a.c. lines and they are then limited by laying a buried conductor alongside the line (buried linear grounding conductor) in order to conduct and to reduce the short-circuit current and to reduce the step and contact voltages.

A recent application example is the High Speed Line Bologna-Florence where the two mentioned grounding systems were connected together because of their proximity.

SCIENZA E TECNICA

Tale scelta ha determinato il collegamento al dispersore lineare sopra citato, di tutte le masse metalliche dell'impianto di distribuzione elettrica (come ad esempio tubazioni metalliche per protezione cavi, quadri elettrici lungo linea), la verifica delle tensioni di passo e contatto delle maglie di terra delle cabine di trasformazione MT/BT per corrente di cortocircuito della trazione elettrica, il collegamento al dispersore lineare degli schermi e delle armature dei cavi al dispersore lineare.

This choice led to connect the grounding grids (for instance metallic ducts for cable protection and electric boards along the railway line) of the distribution system to the above mentioned buried linear grounding conductor. It was even necessary to verify the step and contact voltages of the grounding grids of the MV/LV cabins for traction short-circuits and to connect the cable shields and armors to the buried linear grounding conductor.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] DM 28/10/2005 "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie".
- [2] STI Specifica tecnica di interoperabilità concernente la "Sicurezza delle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità. (G.U. 07/03/2008).
- [3] "L'evoluzione degli impianti di trazione elettrica a 25 kV in Italia", Ingegneria Ferroviaria n. 1, 01/2009.
- [4] RFI – Direzione Manutenzione - Specifica tecnica di costruzione per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie - sottosistema LFM - LF610.
- [5] Norma CEI EN 50122 Applicazioni ferroviarie – installazioni fisse - Parte 1: provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra.

Sommaire

SOLUTIONS TECHNIQUES POUR L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES INSTALLATIONS AUXILIAIRES ET D'URGENCE DES LIGNES FERROVIAIRES

L'article décrit le développement et l'évolution des systèmes d'alimentation des installations technologiques ferroviaires, en référence en particulier aux installations de sécurité dans les tunnels (fig. 1) en relation aux nouvelles normes dans ce secteur. Les analyses sont représentées et les choix de projet conséquents sont appliqués pour les parties à haute vitesse actuellement en fonction et pour celles de futures réalisations.

Zusammenfassung

ENERGIESPEISUNG DER ELEKTRISCHEN HILFS- UND NOTFALLSANLAGEN IN EISENBAHN LINIEN

Entwicklung von Energiespeisungssystemen für Bahnhilfsanlagen, mit besonderer Aufmerksamkeit für Tunnelanwendungen. Diese Anlagen werden auf Grund der neuen Normen gedacht und realisiert. Es werden Analysen somit davon folgende technische Lösungen vorgestellt, die in heutigen und zukünftigen italienischen NBS angenommen werden.