



Il mantenimento in efficienza delle linee ferroviarie nel Nord Europa in presenza di neve e ghiaccio

Maintaining railway lines efficient in northern Europe in presence of snow and ice

Enrico ASTOLFI^(*)

Sommario - Nel seguente articolo vengono espone le caratteristiche tecniche e le modalità di mantenimento in efficienza delle linee ferroviarie in alcuni paesi del nord Europa che, storicamente, sono abituati a fronteggiare avverse condizioni meteo.

Si inizia presentando i principali fenomeni meteorologici che causano problemi all'infrastruttura ferroviaria ed al materiale rotabile. Successivamente, si presentano le procedure di preparazione e pianificazione delle attività in condizioni invernali della rete ferroviaria russa e dei paesi dell'Europa settentrionale. Si conclude con alcune considerazioni di carattere generale.

1. Introduzione

Neve e ghiaccio possono creare seri disagi alla circolazione dei treni. Esempari, per intensità di freddo, sono stati gli inverni del 1965 in Svezia e del 1966 in Germania e, in epoca più recente, negli anni 2009 e 2010 in Francia e Gran Bretagna. In Italia, le ondate di freddo più intenso rimangono quelle degli anni 1929, 1956, 1971, 1985, 1995, 2012 e, recentemente, del febbraio 2018 [11].

La presenza di neve e ghiaccio può essere considerata non problematica per la circolazione dei treni nel nord Europa, ma può rappresentare una grave difficoltà nel resto del nostro continente.

E' importante sottolineare che, alcune reti ferroviarie europee, sono state progettate in considerazione del fatto di trovarsi a ridosso dell'area mediterranea, caratterizzata da un clima temperato e da temperature piuttosto miti. Quindi, tali infrastrutture non sono in grado di far fronte a condizioni meteo-climatiche eccezionali di neve e ghiaccio che si presentano, mediamente, una volta ogni dieci anni.

Situazioni di freddo intenso possono condizionare il buon funzionamento del materiale rotabile, creando ac-

Summary - The following article describes the technical characteristics and the methods for maintaining efficient railway lines in some northern European countries that are historically accustomed to facing adverse weather conditions.

We start by presenting the main meteorological phenomena which cause problems to the railway infrastructure and rolling stock. Subsequently, the procedures for the preparation and planning of activities in winter conditions of the Russian railway network and the northern European countries are presented. Some general considerations conclude the document.

1. Introduction

Snow and ice can create serious disruption to train traffic. The winters of 1965 in Sweden and 1966 in Germany were exemplary for cold intensity and, more recently, in the years 2009 and 2010 in France and Great Britain. In Italy, the most intense cold waves remain those of the years 1929, 1956, 1971, 1985, 1995, 2012 and, recently, of February 2018 [11].

The presence of snow and ice can be considered not problematic for the movement of trains in northern Europe, but it can represent a serious difficulty on the rest of our continent.

It is important to underline that some European railway networks have been designed in consideration of the fact that they are close to the Mediterranean area, characterised by a temperate climate and rather mild temperatures. Therefore, these infrastructures are unable to cope with exceptional weather and climate conditions of snow and ice that occur, on average, once every ten years.

Situations of intense cold can affect the good functioning of the rolling stock, creating accumulations of ice on the traction elements, blocking of the doors and transmission systems.

^(*) RFI S.p.A. - Direzione Territoriale Produzione Ancona - S.O. Ingegneria - Staff Geologia.

^(*) RFI SpA - Territorial Production Management Ancona - Engineering Op.Dept. - Geology Staff.

cumuli di ghiaccio sugli organi di trazione, il blocco delle porte e dei sistemi di trasmissione.

Particolarmente a rischio sono le infrastrutture ferroviarie [12]. La neve infatti, in presenza di temperature rigide, può trasformarsi in ghiaccio ed impedire il corretto funzionamento dei deviatori non permettendo la perfetta aderenza tra ago e contrago oppure creare dispersione elettrica dei circuiti di binario. Il ghiaccio può rivestire la linea aerea della trazione elettrica [16], impedendo pertanto ai treni di assorbire la potenza di cui hanno bisogno per muoversi (Fig. 1).

I problemi causati alla regolarità della circolazione dei treni possono essere suddivisi in problemi diretti e problemi indiretti.

I problemi diretti si verificano quando, in presenza di neve e ghiaccio e, con temperature piuttosto rigide, il materiale rotabile diventa più fragile. Infatti, ad essere particolarmente esposti a rottura, sono soprattutto gli apparati elettrico-meccanici come gli interruttori, le boccole, le ruote, ma anche i giunti, le saldature, gli organi di attacco delle rotaie alle traverse, la catenaria ed il pantografo.

I problemi indiretti invece sono rappresentati, ad esempio, dagli agenti di condotta dei treni, dal personale di manutenzione dell'infrastruttura, ecc. necessari in numero molto maggiore quando si verificano questi particolari fenomeni di condizioni meteorologiche avverse.

Inoltre, la mancanza di personale addestrato, può rendere inefficace l'attuazione dei piani neve, non permettendo una gestione regolare del traffico sulla rete ferroviaria seppure in presenza di specifiche e programmate riduzioni di treni.

Anche l'approccio alle stazioni ferroviarie può diventare problematico poiché, la presenza di ghiaccio, può rendere complessi i parcheggi per le automobili e, i pedoni, per non rischiare di scivolare sui marciapiedi, possono incontrare serie difficoltà nello spostarsi dentro e fuori i fabbricati viaggiatori delle stazioni ferroviarie.



Fig. 1 – ETR 500 fermo in stazione ferroviaria durante una nevicata.

Fig. 1 – ETR 500 stationary at the railway station during a snowfall.

Railway infrastructures are particularly at risk [12]. In fact, in the presence of cold temperatures, the snow can turn into ice and prevent the correct operation of the turnouts by not allowing perfect adherence between the switch blade and the stock rail or can create electrical dispersion of the track circuits. Ice can cover the electric traction [16] overhead line, thus preventing trains from absorbing the power they need to move (Fig. 1).

The problems caused by the regularity of train traffic can be divided into direct problems and indirect problems.

Direct problems occur when, in the presence of snow and ice, and with rather rigid temperatures, the rolling stock becomes more fragile. In fact, the electrical-mechanical apparatuses are above all particularly exposed to breakage, such as switches, bearing assemblies, wheels, but also joints, weldings, the connection elements of the rails to the sleepers, the overhead contact line and the pantograph.

Instead, indirect problems are represented, for example, by train drivers, infrastructure maintenance personnel, etc. necessary to a greater extent when these particular phenomena of adverse weather conditions occur.

Furthermore, the lack of trained personnel can make the implementation of snow plans ineffective, by not allowing regular traffic management on the railway network, even if specific and planned train reductions are involved.

Even the approach to railway stations can become problematic because, the presence of ice, can make car parking difficult and, to avoid slipping on sidewalks, pedestrians may encounter serious difficulties in moving in and out of the passenger buildings of railway stations.

2. Main meteorological phenomena at the base of railway inefficiency

Before examining the ways in which the effects determined by adverse situations are mitigated, let us try to understand what are the main meteorological phenomena that can cause rail disruptions.

2.1. Snow

Snow is basically crystalline ice water, formed by a multitude of tiny ice crystals. The process that allows the formation of snow is the same as that which originates rain indeed, more often than not, the same rain originates initially as snow. In fact, snow, like rain, is the consequence of the transformation of moisture contained in the clouds. In particular, in the case of snow, this is formed by the direct passage from the steam status to the solid status of the water in the atmosphere, when the temperature is lower than 0° C. It is therefore small ice crystals that, in the absence of turbulence in the cloud itself, remain in suspension. If, on the other hand, a movement of updrafts in the clouds is created, the ice crystals join together and

2. I principali fenomeni meteorologici alla base dei disservizi in ferrovia

Prima di esaminare le modalità con cui vengono mitigati gli effetti determinati dalle situazioni avverse, cerchiamo di capire quali siano i principali fenomeni meteorologici che possono causare disservizi in ferrovia.

2.1. La neve

La neve è fondamentalmente acqua ghiacciata cristallina, formata da una moltitudine di minuscoli cristalli di ghiaccio. Il processo che permette la formazione della neve è uguale a quello che origina la pioggia anzi, il più delle volte, la stessa pioggia si origina inizialmente come neve. Infatti, la neve, come la pioggia, è la conseguenza della trasformazione dell'umidità contenuta nelle nuvole. In particolare, nel caso della neve, questa si forma per il passaggio diretto dallo stato di vapore allo stato solido dell'acqua presente in atmosfera, quando la temperatura è inferiore a 0 °C. Si tratta quindi di piccoli cristalli di ghiaccio che, in mancanza di turbolenza nella nuvola stessa, restano in sospensione. Se invece, si crea un movimento di correnti ascensionali nelle nuvole, i cristalli di ghiaccio si aggregano tra loro ingrossandosi. Quando il loro peso è tale da non essere più in grado di rimanere in sospensione, precipitano per gravità verso il basso sotto forma di neve (Fig. 2).

Affinché il fiocco di neve raggiunga il suolo, è necessario che lungo il suo tragitto la temperatura si mantenga pressoché costante intorno a 0 °C. Il più delle volte, il fiocco di neve raggiunge il suolo sotto forma di pioggia poiché si scioglie negli ultimi strati dell'atmosfera, dove la temperatura spesso è superiore a 0 °C [15].

2.2. Il ghiaccio

Il ghiaccio corrisponde allo stato solido dell'acqua pura che risulta dal processo di congelamento. A pressione atmosferica terrestre e, al livello medio del mare, la temperatura di congelamento dell'acqua è di 0°C. Quando l'acqua si congela, il volume specifico delle molecole aumenta ed assume una particolare forma cristallina a struttura esagonale (Fig. 3). Questa struttura è la forma di ghiaccio più comune ed ha una densità molecolare di circa 0,917 g/cm³, inferiore rispetto a quella dell'acqua che è di 0,9998 g/cm³ e questo spiega perché il ghiaccio galleggi se immerso in acqua. Però, durante il congelamento, l'ordine atomico non è perfetto e le molecole d'acqua possono assumere varie forme che corrispondono al-

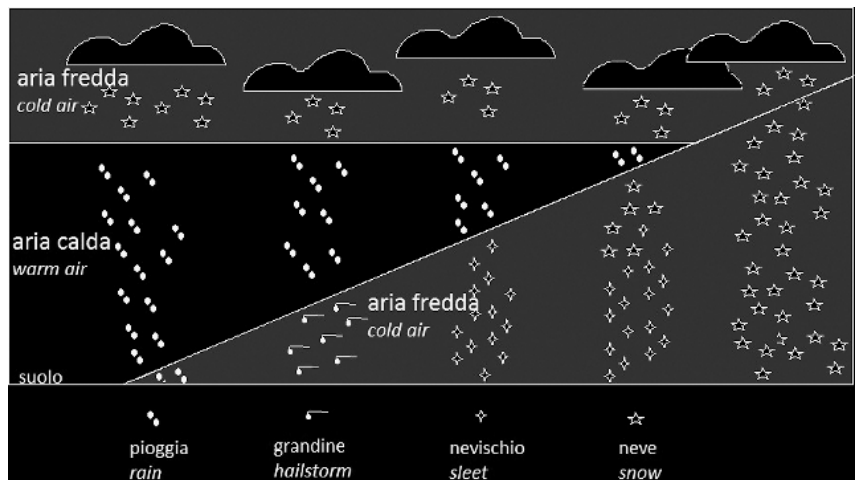


Fig. 2 – Comportamento della neve in funzione della temperatura dell'aria.
Fig. 2 – Snow behaviour according to the air temperature.

become thicker. When their weight is such that they are no longer able to remain in suspension, they precipitate by gravity downwards in the form of snow (Fig. 2).

In order for the snowflake to reach the ground, it is necessary that along its route the temperature is kept almost constant around 0° C. Most often, the snowflake reaches the ground in the form of rain because it melts in the last layers of the atmosphere, where the temperature is often above 0° C [15].

2.2. Ice

Ice corresponds to the solid state of pure water resulting from the freezing process. At ground atmospheric pressure and at the average sea level, the freezing temperature of water is 0° C. When the water freezes, the specific vol-

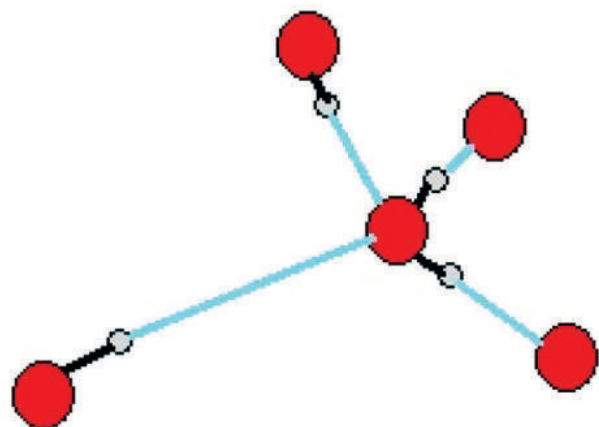


Fig. 3 – Struttura cristallina del ghiaccio.
Fig. 3 – Crystalline ice structure.

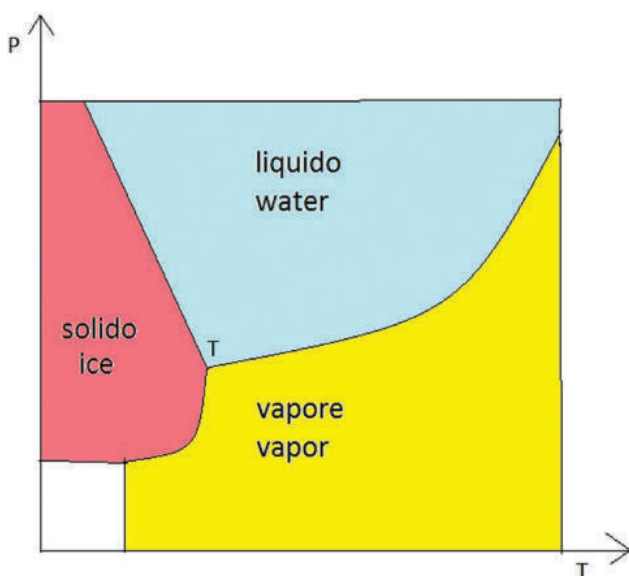


Fig. 4 – Diagramma di stato che illustra tre fasi dell’acqua.
Fig. 4 – Phase diagram showing three phases of the water.

le diverse posizioni dell’idrogeno rispetto all’ossigeno in funzione della pressione e della temperatura.

La pressione svolge un ruolo fondamentale per il ghiaccio poiché determina la temperatura del punto di fusione, ovvero il punto in cui il ghiaccio inizia a sciogliersi e, la temperatura del punto di ebollizione dell’acqua (Fig. 4).

2.3. L’inversione termica

L’inversione termica è un fenomeno meteorologico caratterizzato da un raffreddamento dello strato d’aria vicino al suolo che determina un cambio di direzione del gradiente termico verticale. Quando il cielo è sereno, in condizione anticiclonica, con venti deboli, scarso rimescolamento delle masse d’aria, il terreno irradia calore verso l’atmosfera [13]. Tali condizioni agevolano un forte raffreddamento del terreno, favorendo la formazione di uno strato d’aria fredda che ristagna al suolo, a qualche centinaio di metri d’altezza. Questo strato d’aria fredda, essendo più pesante, rimane stabile a livello del suolo (Fig. 5) e, con la condensazione dell’umidità, origina le nebbie da irraggiamento, molto diffuse durante l’inverno in pianura Padana.

L’inversione termica raggiunge il massimo d’intensità durante le prime ore del mattino per svanire successivamente durante le ore più calde della giornata. Inoltre, questo fenomeno assume maggior evidenza in inverno ed in presenza di cieli sereni o poco nuvolosi. Durante il giorno, nel periodo invernale, i raggi solari spesso non riescono a riscaldare il suolo, sia per l’aumentata

ume of the molecules increases and takes on a particular crystalline form with a hexagonal structure (Fig. 3). This structure is the most common form of ice and has a molecular density of about 0.917 g/cm³, lower than that of water, which is 0.9998 g/cm³ and this explains why ice floats when immersed in water. However, during freezing, the atomic order is not perfect and the water molecules can take various forms that correspond to the different positions of hydrogen with respect to oxygen as a function of pressure and temperature.

Pressure plays a fundamental role for ice because it determines the temperature of the melting point, i.e. the point where the ice starts to melt and the temperature of the boiling point of water (Fig. 4).

2.3. Thermal reversal

Thermal inversion is a meteorological phenomenon characterised by cooling of the air layer close to the ground that causes a change in direction of the vertical thermal gradient. When the sky is clear, in an anticyclone condition, with weak winds, poor mixing of the air masses, the ground radiates heat towards the atmosphere [13]. These conditions facilitate strong cooling of the ground, favouring the formation of a layer of cold air that stagnates on the ground, a few hundred metres high. This layer of cold air, being heavier, remains stable at ground level (Fig. 5) and originates the irradiation mists, with the condensation of humidity, very common during the winter in the Po Valley.

Thermal inversion reaches its maximum intensity during the early hours of the morning to fade later during the hottest hours of the day. Moreover, this phenomenon becomes more evident in winter and in the presence of clear or cloudy skies. During the day, during the winter, the sun’s rays often cannot heat the ground, both due to the increased inclination of the earth’s axis compared to the sun, and due to the reduced duration of the day. The air, in

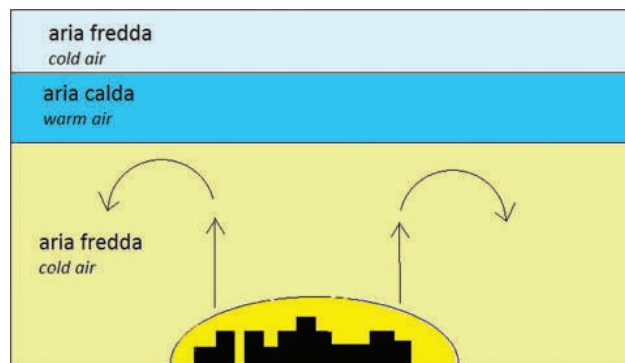


Fig. 5 – Rappresentazione schematica dell’inversione termica.

Fig. 5 – Schematic representation of thermal inversion.

inclinazione dell'asse terrestre rispetto al sole, sia per la ridotta durata del giorno. L'aria, a contatto con il terreno, al calar del sole si raffredda repentinamente, raggiungendo temperature inferiori rispetto agli strati atmosferici sovrastanti. La temperatura risulta quindi più bassa in pianura che nelle aree collinari circostanti, con una differenza di temperatura addirittura di +10°C. Solitamente, durante l'inversione termica, si può osservare come l'andamento termico negli strati d'aria prossimi al suolo rimanga pressoché costante.

2.4. Il gelicidio

In condizioni particolari l'acqua può non solidificare a temperature inferiori a 0 °C e rimanere pertanto allo stato liquido; tale processo di raffreddamento è denominato "Sopraffusione" (Fig. 6).

Il processo di raffreddamento della sopraffusione [1] si verifica quando la tensione superficiale delle singole gocce e la totale assenza di sali minerali e impurità impediscono all'acqua di congelare. Tale stato dell'acqua è però molto instabile poiché è sufficiente una semplice vibrazione per alterare l'equilibrio del sistema e far congelare istantaneamente l'acqua.

Quando, in presenza di questo particolare processo di raffreddamento della sopraffusione, l'acqua si solidifica istantaneamente a contatto con il suolo freddo, formando cristalli di ghiaccio, si assiste al cosiddetto fenomeno meteorologico denominato "gelicidio".

In questa situazione la pioggia inizia a cadere al suolo sotto forma di neve da nuvole che si trovano ad una temperatura sotto 0°C e, lungo il tragitto verso terra, si scioglie per la presenza di masse d'aria più calda. Se, prima di arrivare al suolo, la pioggia trova nuovamente strati d'aria con temperature sotto 0°C non si congela istantaneamente, ma si congela appena arrivata al suolo (pioggia sopraffusa) formando una patina di ghiaccio limpido, compatto e solido.

Il gelicidio [14] è la causa di molti disservizi in ferrovia poiché, il peso del ghiaccio, può provocare la caduta di rami sui binari, la rottura di cavi della trazione elettrica, seri problemi alle telecomunicazioni e rappresentare una notevole insidia per la circolazione dei treni sui binari.

In particolare, i cavi della trazione elettrica possono essere ricoperti da una sottile patina di ghiaccio, rendendo pertanto difficoltosa la captazione della corrente elettrica da parte del pantografo del treno (Fig. 7).

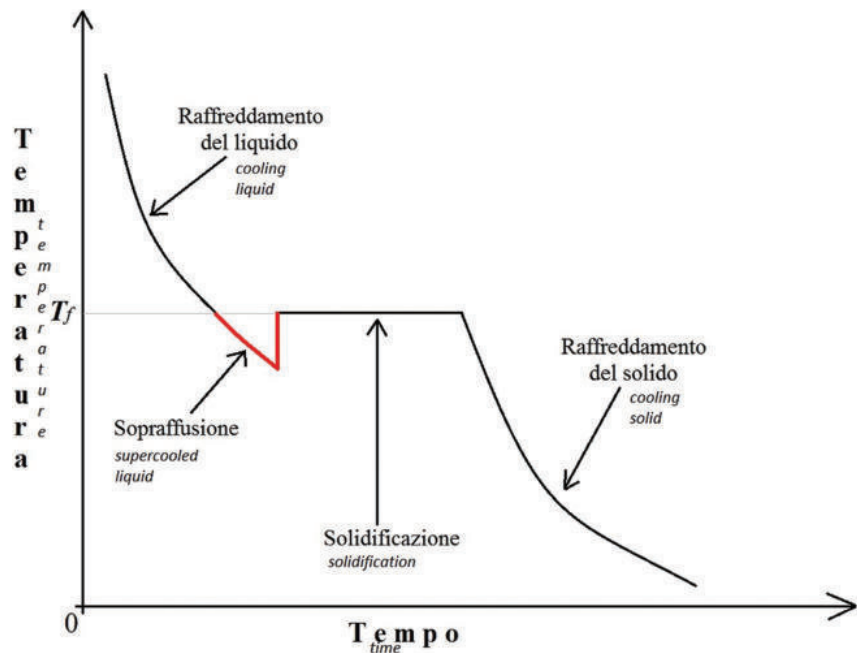


Fig. 6 – Diagramma che rappresenta il processo della "Sopraffusione".
Fig. 6 – Diagram representing the "Supercooling" process.

contact with the ground, suddenly cools at sunset, reaching lower temperatures than the overlying atmospheric layers. The temperature is therefore lower in the plains than in the surrounding hilly areas, with a temperature difference of even +10°C. Usually, during thermal inversion, it can be observed how the thermal trend in the air layers close to the ground remains almost constant.



Fig. 7 – Il fenomeno del gelicidio sulle linee ferroviarie.
Fig. 7 – The glazed frost phenomenon on railway lines.

3. La pianificazione delle attività in condizioni invernali nella rete ferroviaria russa

E' risaputo che l'inverno in Russia sia piuttosto rigido, soprattutto considerate le elevate latitudini. Le ferrovie nazionali russe, conosciute con l'acronimo "RŽD" - "Rossijskie Železnye Dorogi" (letteralmente "strade ferrate della Russia") hanno adottato, ormai da anni, diversi sistemi per contrastare la presenza di gelo che, puntualmente, si presenta nel periodo invernale.

Un sistema molto efficace, per tenere pulite le linee ferroviarie russe è rappresentato dalla flotta di treni spazzaneve modello "CM-2" (Fig. 8). Questo tipo di treno è composto da un veicolo principale dotato di rostro anteriore per liberare i binari, tre carri a tramoggia per il trasporto della neve ed una motrice posteriore che spinge l'intero convoglio [2].

Il rostro anteriore è costituito da coclee e da spazzole che hanno la funzione di scavare sotto il piano del ferro del binario per eliminare la neve.

L'agente di condotta di questo speciale treno si trova all'interno della cabina del veicolo di testa e controlla il rostro anteriore di raccolta, sollevandolo ogni qual volta il treno passa in prossimità di deviatori oppure di passaggi a livello.

La neve raccolta viene quindi indirizzata sul retro del convoglio tramite un nastro trasportatore che passa sotto alla cabina di condotta del mezzo.

Quando la neve raggiunge la parte posteriore del veicolo principale, questa cade per gravità dal nastro trasportatore e si accumula all'interno di carri tramoggia che seguono a tergo. La neve così raccolta viene spostata lungo il convoglio da nastri trasportatori presenti sul fondo dei carri.

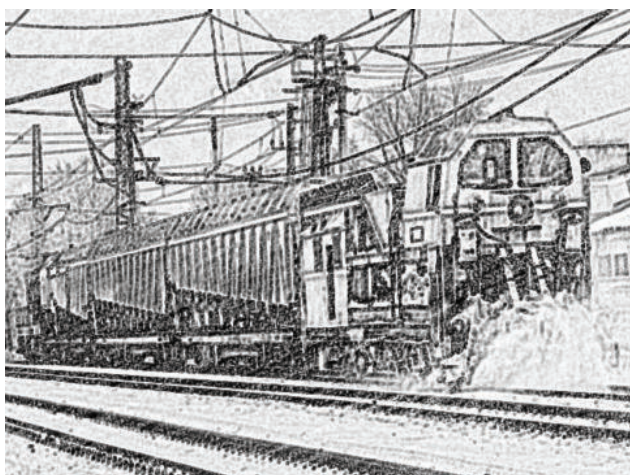


Fig. 8 – Il treno russo spazzaneve modello "CM-2".
Fig. 8 – The Russian "CM-2" model snowplough.

2.4. Glazed frost

Under particular conditions, water may not solidify at temperatures below 0° C and therefore remain in a liquid state; this cooling process is called "Supercooling" [1] (Fig. 6).

The supercooling process occurs when the surface tension of the individual drops and the total absence of mineral salts and impurities prevent the water from freezing. However, this water condition is very unstable because a simple vibration is sufficient to alter the balance of the system and freeze the water instantaneously.

When, in the presence of this particular supercooling cooling process the water solidifies instantly in contact with the cold ground, forming ice crystals, we are witnessing the so-called meteorological phenomenon called "Glazed frost".

In this situation the rain starts to fall to the ground in the form of snow from clouds that are at a temperature below 0° C and melts along the way to the ground, due to the presence of warmer air masses. If, before reaching the ground, the rain again finds layers of air with temperatures below 0° C it does not freeze instantly, but freezes as soon as it reaches the ground (overcooled rain) forming a patina of clear, compact and solid ice.

Glazed frost [14] is the cause of many inefficiencies in railways because, the weight of the ice, can cause the fall of branches on the tracks, the breakage of electric traction cables, serious problems with telecommunications and represent a major pitfall for the movement of trains on the tracks.

In particular, the electric traction cables can be covered by a thin layer of ice, thus making it difficult for the train pantograph to collect the electric current (Fig. 7).

3. Planning of activities in the Russian railway network in winter conditions

It is well known that winter in Russia is rather harsh, especially given the high latitudes. The Russian national railways, known by the acronym "RŽD" - "Rossijskie Železnye Dorogi" (literally "railways of Russia") for years now have adopted several systems to contrast the presence of frost that occurs precisely in winter.

A very effective system to keep the Russian railway lines clean is represented by the "CM-2" model snowplough fleet (Fig. 8). This type of train consists of a main vehicle equipped with a front bumper to free the tracks, three hopper wagons for the transport of snow and a rear engine that pushes the whole convoy.

The front bumper consists of augers and brushes that have the function of digging under the top of rail to eliminate snow.

The driver of this special train is located inside the head vehicle cabin and controls the front collecting bumper, lifting it whenever the train passes close to turnouts or level crossings.

Una volta che il treno è totalmente pieno di neve, il carro posteriore scarica la neve per mezzo di un nastro trasportatore a scomparsa. Tale sistema consente, in automatico, di scaricare la neve raccolta accanto ai binari mentre il treno è ancora in movimento.

A seconda delle condizioni meteo, questi treni possono assumere diversi assetti con dotazioni spazzaneve, soffiatori ad aria calda, getti di vapore, spazzole raschia ghiaccio e sistemi riscaldanti.

Sulla scorta della loro lunga esperienza, le ferrovie russe hanno sviluppato alcune procedure tecniche con l'obiettivo di ottenere un funzionamento costante e stabile nel periodo invernale sia degli apparati di sicurezza e segnalamento, sia dei dispositivi di telecomunicazione. Infatti, in estate, i responsabili degli impianti elettrici, pianificano ispezioni approfondite per verificare lo stato di integrità degli apparati di comando e controllo, delle strutture e di tutti i dispositivi di sicurezza e segnalamento, telecomunicazione, dei rilevatori, dei deviatori, delle casse di manovra, dei cantieri di smistamento e delle strutture tecniche [3].

Per garantire il funzionamento in condizioni di freddo intenso, dopo il controllo approfondito delle condizioni dei circuiti elettrici, dei connettori, dei cavi, dei raccordi, viene eseguita la regolazione della tensione in base alla temperatura minima di esercizio prescelta.

Durante le ispezioni si presta particolare attenzione anche alla manutenzione del segnalamento, delle attrezzature, del cablaggio e della disponibilità dei pezzi di ricambio.

Tutti i difetti ed i malfunzionamenti rilevati durante le ispezioni vengono immediatamente riparati e, i rapporti d'ispezione, vengono trasmessi all'amministrazione centrale e gestiti dai responsabili territoriali locali [4].

Sulla scorta degli anni precedenti, i tecnici russi redigono anno per anno i piani di lavoro della manutenzione. Tali piani di lavoro, vengono attuati dal personale della manutenzione e controllati periodicamente dal personale tecnico territorialmente competente.

La rete ferroviaria russa è suddivisa in settori, in funzione dell'intensità delle nevicate, delle temperature, della visibilità, della densità delle neve osservata durante gli inverni precedenti su tutto il territorio nazionale (Fig. 9).

Le aree soggette a valanghe sono tenute costantemente sotto controllo soprattutto durante i periodi più critici. Tali siti sono costantemente monitorati e, all'inizio del periodo invernale, vengono ispezionati regolarmente tramite droni oppure con l'uso dell'elicottero. La manutenzione periodica delle strutture anti-valanga svolge un ruolo fondamentale al fine di garantire la sicurezza della circolazione dei treni durante l'inverno. Al fine di informare tempestivamente gli operatori che lavorano, le ferrovie russe dispongono di un dipartimento centralizzato di meteorologia con sistemi di monitoraggio a controllo remoto e stazioni meteorologiche distribuite lungo tutta la rete ferro-

The collected snow is then directed to the back of the train via a conveyor belt that passes under the vehicle's cabin.

When the snow reaches the rear of the main vehicle, it falls by gravity from the conveyor belt and accumulates inside the rear hopper wagons. The collected snow is moved along the train by conveyor belts on the bottom of the wagons.

Once the train is completely filled with snow, the rear wagon unloads the snow by means of a retractable conveyor belt. This system allows automatic unloading of the snow collected next to the tracks while the train is still moving.

Depending on the weather conditions, these trains can take on different set-ups with snowploughs, hot air blowers, steam jets, ice scraper brushes and heating systems.

On the basis of their long experience, the Russian railways have developed some technical procedures with the aim of obtaining constant and stable operation in winter both of the safety and signalling devices, and of the telecommunication devices. In fact, in the summer, the electrical systems managers plan in-depth inspections to check the integrity of the command and control devices, of the structures and of all the safety and signalling devices, telecommunications, detectors, turnouts, point machines, sorting sites and technical facilities [3].

To guarantee operation in conditions of intense cold, after a thorough check of the electrical circuits, connectors, cables and fittings conditions, the voltage is adjusted according to the chosen minimum operating temperature.

During inspections, special attention is also paid to the maintenance of signalling, equipment, wiring and availability of spare parts.

All the faults and malfunctions detected during the inspections are immediately repaired and the inspection reports are transmitted to the central administration and managed by the local territorial managers [4].

The Russian technicians draw up maintenance plans each year on the basis of previous years. These work plans are implemented by the maintenance personnel and periodically checked by the territorially competent technical staff.

The Russian railway network is divided into sectors, depending on the intensity of snowfall, temperatures, visibility, and the density of snow observed during previous winters throughout the country (Fig. 9).

Areas subject to avalanches are constantly monitored, especially during the most critical periods. These sites are constantly monitored and, at the beginning of the winter period, are regularly inspected by drones or using the helicopter. The periodic maintenance of the anti-avalanche facilities plays a fundamental role in ensuring the safety of train traffic during the winter. In order to promptly inform workers on duty, Russian railways have a centralised meteorology department with remote control monitoring systems and meteorological stations distributed along the entire national railway network. This department analyses a large amount of data and, experts develop weather forecasts in a



Fig. 9 – La rete ferroviaria nella Federazione Russa.
Fig. 9 – The railway network in the Russian Federation.

viaria nazionale. Tale dipartimento analizza una gran quantità di dati e, gli esperti, sono in grado di sviluppare previsioni meteo in modo molto attendibile. In caso di eventi meteorologici avversi, viene attivato un sistema d'allarme per l'attuazione immediata del piano neve sui diversi settori della rete ferroviaria russa. L'avviso di allerta meteo riporta le caratteristiche qualitative e quantitative del fenomeno in avvicinamento, indicando la velocità del vento, la temperatura, l'intensità e la durata prevista.

Un'attenzione particolare è rivolta anche alla formazione del personale addetto a lavorare in condizioni meteorologiche avverse.

4. I sistemi antineve ed antighiaccio utilizzati nei paesi del Nord Europa

In Svezia è stato recentemente sviluppato un innovativo sistema per la rimozione della neve, il treno denominato "SR700" (Fig. 10). Questo treno aspira la neve dalla linea ferroviaria e la immagazzina, una volta sciolta, in carri tramoggia posti a tergo della cabina anteriore di aspirazione, prima di scaricare il contenuto all'interno di un'area preposta per il drenaggio delle acque [5].

Il treno è composto da una cabina anteriore in cui l'operatore controlla due gruppi di spazzole regolabili, situate una sul lato destro e, l'altra, sul lato sinistro. Le setole delle due unità di spazzole rimuovono la neve ed il ghiaccio su un'area semicircolare di circa 5 m attorno alla parte anteriore. La neve viene spazzata al centro della pista e immediatamente aspirata dalla macchina. La neve ed il ghiaccio vengono quindi trasferiti in un serbatoio riscaldato posto nel primo carro del treno.

Il serbatoio posteriore è riscaldato ad una temperatura di circa 25 °C da un generatore di 12 MW di potenza

very reliable way. An alarm system is activated for the immediate implementation of the snow plan on the different sectors of the Russian railway network in case of adverse meteorological events. The warning of weather alerts shows the qualitative and quantitative characteristics of the approaching phenomenon, indicating the wind speed, temperature, intensity and expected duration.

Particular attention is also paid to the training of personnel assigned to work in adverse weather conditions.

4. Anti-snow and anti-icing systems used in Northern European countries

An innovative snow removal system has recently been developed in Sweden called the "SR700" train (Fig. 10). This train sucks snow from the railway line and stores it, once it is dissolved, in hopper wagons located at the back of the front suction cabin, before unloading the contents into an area designated for draining the water [5].

The train consists of a front cabin in which the operator controls two sets of adjustable brushes, one on the right side and the other on the left side. The bristles of the two brush units remove snow and ice on a semi-circular area of about 5 metres around the front. The snow is swept in the middle of the track and immediately sucked by the machine. The snow and ice are then transferred to a heated tank located in the first train wagon.

The rear tank is heated to a temperature of about 25° C by a 12 MW power generator that literally melts snow and ice so that it can be easily pumped into a 50 m³ storage tank that is



Fig. 10 – Un'immagine del treno denominato "SR700" utilizzato in Svezia.

Fig. 10 – An image of the train called "SR700" used in Sweden.

che, scioglie letteralmente la neve ed il ghiaccio in modo che possa essere facilmente pompato in un serbatoio di stoccaggio da 50 m³ che è termicamente coibentato per impedirne il ricongelamento. Da qui l'acqua viene facilmente svuotata in punti convenzionali della rete idrica superficiale oppure, in un'area designata, con un'operazione di scarico che dura per lo più una decina di minuti. Per utilizzare il treno SR700 sono necessari tre operatori, tutti in costante contatto radio tra loro: un operatore che controlla i gruppi di spazzole anteriori, un altro operatore all'interno della motrice che conduce l'intero convoglio e un operatore a terra che verifica l'efficacia delle operazioni.

Il treno SR700 può funzionare per circa trenta minuti consecutivi prima che sia necessario procedere con lo scarico dell'acqua. C'è però la possibilità, se necessario, di aggiungere altri carri tramoggia a tergo del convoglio per allungare l'autonomia ed il tempo di operatività.

In Gran Bretagna, per ridurre al minimo le interruzioni causate da neve e ghiaccio, il gestore dell'infrastruttura ferroviaria nazionale organizza treni vuoti che corrono negli orari notturni oppure durante le interruzioni programmate d'orario, al fine di mantenere liberi i binari dalla neve [6]. Anche i normali treni passeggeri vengono dotati con sistemi spazzaneve (Fig. 11).

Per effettuare un'adeguata pulizia delle linee ferroviarie, i carrelli della manutenzione vengono dotati di turbina spazzaneve (Fig. 12) oppure di soffiatore spazzaneve [7] (Fig. 13).

In Germania, particolare attenzione è rivolta alla formazione del personale addetto alla manutenzione che lavora lungo la ferrovia durante l'inverno e interviene per liberare i deviatoi, i passaggi a livello e gli imbocchi delle gallerie da neve e ghiaccio. Viene curata l'organizzazione soprattutto per garantire il presidio dei turni e delle reperibilità [8].

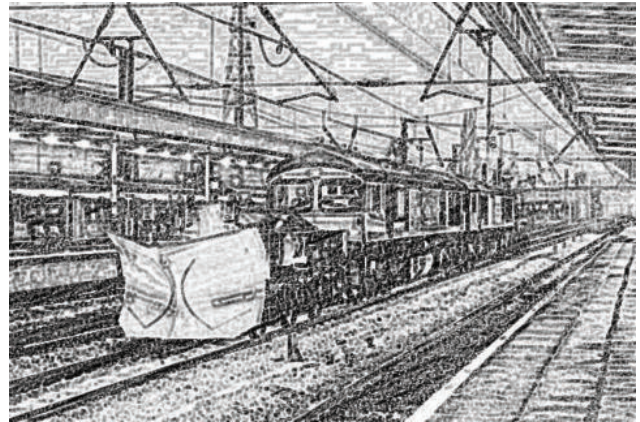


Fig. 11 – Esempio di treno con rostro anteriore spazzaneve.
Fig. 11 – Example of a train with a front snowplough bumper.

thermally insulated to prevent refreezing. From here the water is easily emptied at conventional points of the surface water network or, in a designated area, with a discharge operation that lasts about ten minutes. Three operators are needed to use the SR700 train, all in constant radio contact with each other: an operator who controls the front brushes groups, another operator inside the engine that conducts the whole train and an operator on the ground that checks the effectiveness of operations.

The SR700 train can run for about thirty consecutive minutes before it is necessary to proceed with water discharge. However, there is the possibility, if necessary, to add other hopper wagons on the back of the convoy to extend the autonomy and the time of operation.

In Britain, to minimise the interruptions caused by snow and ice, the manager of the national railway infrastructure organises empty trains that run at night or during scheduled

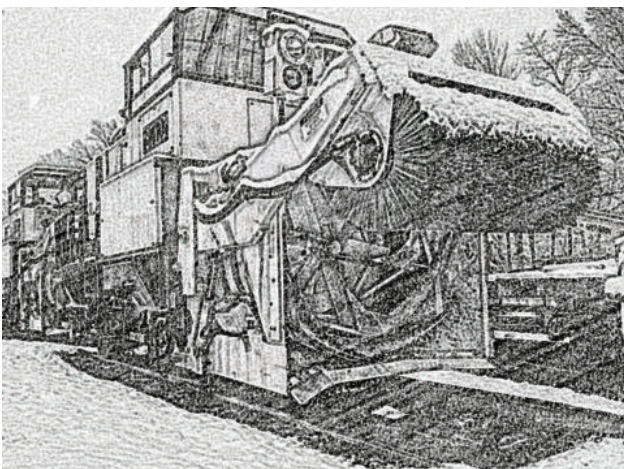


Fig. 12 – Carrello con turbina spazzaneve.
Fig. 12 – Bogie with snowplough turbine.

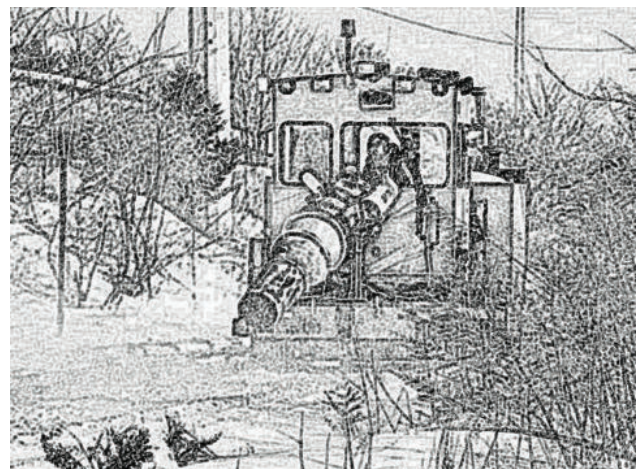


Fig. 13 – Carrello con soffiatore spazzaneve.
Fig. 13 – Trolley with snowplough blower.

Sempre in Germania, per mezzo di un elicottero dotato di termocamera, viene effettuato il monitoraggio da remoto della temperatura dei binari e vengono identificati con precisione i punti della linea dove è presente una temperatura troppo bassa per garantire la sicurezza dell'esercizio ferroviario. Gli alberi prospicienti la linea ferroviaria vengono abbattuti preventivamente al fine di evitare che diventino pesanti con la neve e rappresentino quindi un pericolo per la sicurezza nella circolazione dei treni. Fluido anticongelante, materiale isolante, lubrificante e sistemi riscaldanti sono utilizzati, di norma, su tutti i deviatoli e sui binari conduttori sotto tensione per impedire la formazione di ghiaccio.

Un'accurata pianificazione dei materiali permette di assicurare che i pezzi di ricambio siano prontamente disponibili in qualsiasi momento. L'attenta gestione dei flussi di dati, provenienti dai centri di informazione meteo specializzati, permette al personale dell'esercizio di prendere decisioni in tempi rapidi come, ad esempio, la riduzione temporanea di velocità dei treni, l'organizzazione di bus navetta sostitutivi, l'invio di squadre di operatori dotati di attrezzi per rimuovere il ghiaccio dalle linee della trazione elettrica [9].

In Olanda, il gestore dell'infrastruttura ha istituito un centro operativo all'interno del quale le imprese ferroviarie possono partecipare con i loro rappresentanti e dove è possibile assumere decisioni in tempo reale in merito alle condizioni del traffico su tutta la rete ferroviaria nazionale.

Un centro operativo congiunto consente al gestore dell'infrastruttura di lavorare in sinergia con le imprese ferroviarie, condividendo le migliori soluzioni da adottare al fine di rendere la rete ferroviaria priva di interruzioni del traffico, migliorando pertanto il servizio offerto ai clienti [10].

In Europa, uno dei sistemi antighiaccio maggiormente diffuso è rappresentato da particolari trasformatori a resistenza elettrica per i deviatoli chiamati in gergo "scaldiglie" (Fig. 14), che vengono attivati in inverno per evitare che attorno ai deviatoli, oppure all'interno delle casse di manovra, si formi il ghiaccio. Questa è sicuramente una soluzione efficace, però molto costosa. Tali riscaldatori elettrici infatti, sviluppano generalmente una potenza da 3 kVA fino a 30 kVA durante il periodo invernale.

5. Conclusioni

Le procedure dedicate all'organizzazione del servizio in tempo di neve e ghiaccio ed alla gestione degli avvisi di allerta meteo [17] utilizzate presso le reti ferroviarie del nord Europa, permettono di garantire il servizio in caso di avverse condizioni meteorologiche, stabilendo responsabilità precise e gli interventi da effettuare al fine di ridurre il più possibile i ritardi dei treni e l'accumulo di neve e di ghiaccio nelle stazioni e lungo le linee ferroviarie [18].

time disruptions, in order to keep the tracks free of snow [6]. Even normal passenger trains are equipped with snowplough systems (Fig. 11).

To carry out adequate cleaning of the railway lines, the maintenance vehicles are equipped with a snowplough turbine (Fig. 12) or a snowplough blower [7] (Fig. 13).

In Germany, particular attention is paid to the training of maintenance personnel working along the railway during the winter and that intervenes to free turnouts, level crossings and tunnel entrances from snow and ice. The organisation is taken care of above all to guarantee the protection of shifts and availability [8].

Again in Germany, remote monitoring of the track temperature is carried out and the points of the line where there is too low a temperature to ensure the safety of the railway operation are precisely identified by means of a helicopter equipped with a thermal imager. The trees facing the railway line are cut down beforehand in order to prevent them from becoming heavy with snow and therefore represent a danger to the safety of train traffic. Antifreeze fluid, insulating material, lubricant and heating systems are used, as a rule, on all turnouts and live rails to prevent the formation of ice.

Careful material planning ensures that spare parts are readily available at all times. The careful management of data flows, coming from the specialised weather information centres, allows staff to quickly make decisions such as, for example, the temporary reduction of train speeds, the organisation of replacement shuttle buses, sending teams of operators equipped with tools to remove ice from overhead power lines [9].

In the Netherlands, the infrastructure manager has set up an operational centre within which railway undertakings can participate with their representatives and where real-time decisions can be made on traffic conditions on the entire national railway network.

A joint operational centre allows the infrastructure manager to work in synergy with the railway companies, sharing the best solutions to be adopted in order to make the railway network free of traffic interruptions, thus improving the service offered to customers [10].

In Europe, one of the most widespread anti-ice systems is represented by particular electrical resistance transformers for turnouts called "heaters" in jargon (Fig. 14), which are activated in winter to avoid the formation of ice around turnouts, or inside the point machines. This is certainly an effective solution, but very expensive. In fact, these electric heaters generally develop a power from 3 kVA up to 30 kVA during the winter period.

5. Conclusions

The procedures dedicated to the organisation of the service in snowy and icy weather and to the management of the weather alert [17] notices used in the Northern Europe railway networks, guarantee service in case of adverse weather conditions, establishing precise responsibilities and interven-

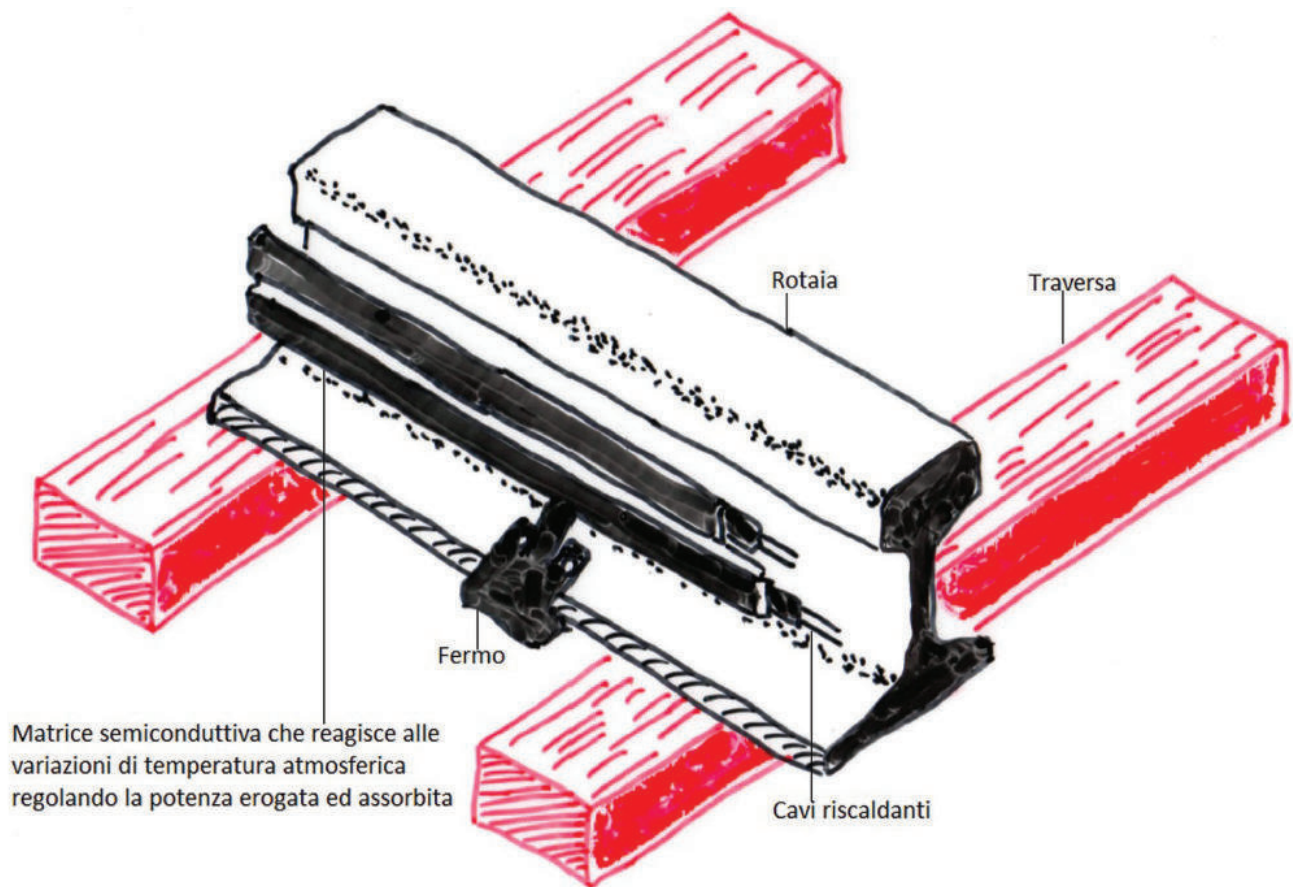


Fig. 14 – Sistema di funzionamento della resistenza elettrica per i deviatori.
 Fig. 14 – Electrical resistance for turnouts operating system.

In Italia, gli strumenti utilizzati sono generalmente i medesimi e si basano sull'utilizzo delle "scaldiglie", di mezzi per lo sgombero della neve e, soprattutto, su una buona organizzazione. In base alle lezioni apprese dal passato, redigere un piano di emergenza neve è fondamentale, ma anche una buona pianificazione nella manutenzione dell'infrastruttura è di primaria importanza per affrontare le emergenze. Poiché in inverno, molti interventi possono risultare più difficili da realizzare oppure possono essere intempestivi, la manutenzione preventiva dovrebbe essere svolta durante la stagione estiva ed autunnale.

tions to carry out in order to reduce train delays as much as possible and the accumulation of snow and ice in stations and along the railway lines [18].

In Italy, the tools used are generally the same and are based on the use of "heaters", means for clearing snow and, above all, on a good organisation. Based on lessons learned from the past, drafting a snow emergency plan is essential, but good planning in maintaining the infrastructure is also critical to addressing emergencies. Preventive maintenance should be carried out during the summer and autumn since many interventions may be more difficult to achieve or may be untimely in winter.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] G. SIDARI, "Acqua liquida fino a -40°C? Scopriamo la "sopraffusione", Didattica ed Esperimento!", Meteocalabria.net, 18 maggio 2017.
- [2] M. WONG, "Snow clearance trains on the Russian Railways", Euro Gunzel, January 2014.
- [3] G. VERKHOVYKH, "Keeping Russia's railways moving during winter", JSC Russian Railways, 4 November 2016.

- [4] *Russian Railways*, Russian Railway's infrastructure development according to the Strategy for Developing Rail Transport in the Russian Federation up to 2030, January 2019.
 - [5] K. SMITH, "Bringing snow clearance in from the cold", Rail Journal, 20 April 2012.
 - [6] Snow and Ice, "Running the railway looking after the railway delays explained snow and ice", Network Rail (UK), September 2014.
 - [7] L. KLOOW, "High-speed train operation in winter climate", Royal Institute of Technology KTH Railway Group, Stockholm 2011.
 - [8] G. RAIMO, "Perchè i treni non si bloccano nei paesi dove nevica sempre?" – Esquire.com.
 - [9] "Extreme cold wreaks havoc on suburban trains in Munich and Berlin" – thelocal.de – 28 Febbraio 2018.
 - [10] <https://www.ns.nl/en/about-ns/seasons/winter/consequences-of-poor-weather-conditions.html>.
 - [11] M. MELONI, "Ondate di Gelo del febbraio 1956 e 2012 a confronto: clamorose similitudini", Meteogiornale, febbraio 2012.
 - [12] L. CILLIS, "Processo alle Ferrovie", la Repubblica, 28 febbraio 2018.
 - [13] Team iLMeteo.it, "Meteo Didattica: cos'è l'inversione termica?", iLMeteo.it, 27 gennaio 2017.
 - [14] Redazione, "Gelicidio e blocco della circolazione ferroviaria: al via la raccolta firme per dire basta ai disservizi", Assoutenti Liguria, 17 dicembre 2017.
 - [15] A. PASINI, "Il Kyoto Fisso Un futuro di pioggia al Polo Nord?", Le Scienze, 5 aprile 2017.
 - [16] Redazione Trento, "Treni bloccati dal ghiaccio, lunedì nero per le ferrovie trentine", La Voce del Trentino.it, 12 dicembre 2017.
 - [17] L. FRITTELLI, U. LEBRUTO, "Organizzazione del Servizio in Tempo di Neve e Gelo", – RFI DPR PS IFS 116 A – 30 novembre 2015.
 - [18] L. FRITTELLI, U. LEBRUTO, "Linea guida per la gestione degli avvisi di allerta meteo", RFI – RFI DPR LG IFS 018 B – 30 novembre 2015.
-