



Sistemi di comunicazioni Radio mobile in Ferrovia: scenario di sviluppo

Radio communication System in railways: development scenario

Maria CATALDO ^(*)
Luca DI DIO LA LEGGIA ^(**)
Giuseppe FAZIO ^(***)
Mauro GIACONI ^(***)
Diego SCHIAVONI ^(**)
Fabio SENESI ^(**)

Sommario - Il Sistema di telecomunicazioni utilizzato dalle ferrovie è il GSM-R (*The Global System for Mobile Communications Railways*). Fin dal 2004 il GSM-R è stato lo standard internazionale per le comunicazioni ferroviarie, ed è la soluzione utilizzata al momento dalle ferrovie Europee. Il ROC Industry Group (*Railway Operational Communications Industry Group*) ha indicato che il supporto a prodotti e servizi GSM-R sarà garantito fino al 2030. In base a queste informazioni, il settore ferroviario deve mitigare il rischio di non disponibilità del GSM-R come sistema radio dopo questa data. Con lo sviluppo dell'alta velocità, il nuovo sistema di comunicazione radio può essere usato per aumentare l'efficienza operativa e per creare importanti servizi. La scelta più promettente è il 5G-Railway. In questo articolo gli autori, affrontano le nuove soluzioni tecniche che riguardano il nuovo network. Una grande importanza è data ai servizi ferroviari più che alla tecnologia e all'architettura che saranno trattati in articoli futuri. I temi principali dei prossimi articoli sono: la capacità richiesta, gli aspetti di sicurezza e protezione, il Network Slice come architettura, servizi e capacità.

1. Inserire titolo paragrafo in italiano

Il GSM-R è utilizzato in Italia, dove la rete GSM-R è gestita da RFI (Rete Ferroviaria Italiana). È basata sulla tecnologia standard del GSM ed è descritta dalle funzioni ferroviarie riportate in [1] e [2]. Il GSM-R è parte dello standard *European Rail Traffic Management System* (ERTMS) ed invia informazioni inerenti il segnalamento

Summary - The standard telecommunication system for the railways is GSM-R (*The Global System for Mobile Communications Railways*). Since 2004 the GSM-R has been the international mobile standard for railway communication, and it is at present the standard radio network solution adopted by the European railways. The ROC Industry Group (*Railway Operational Communications Industry Group*) has indicated that the support of GSM-R products and services is guaranteed until 2030. Based upon this information, the railway sector has to mitigate the risk of the non-availability of GSM-R as radio system for train operations after this date. With the fast development of high-speed railways, the new radio communication systems can be used to improve operational efficiency and to create important services. The most promising one is 5G-Railway. In this paper the authors give a first vision of the new possibilities and technical solutions regarding the new changer network. A great importance is given to railway services rather than technology and architecture. Technology and architecture will be the target of future articles.

- the required capacity in the 5G for Railway
- safety and security in the 5G for Railway,
- architecture, services and capacity of network slice.

1. Introduction

The GSM-R is still used also in Italy, where the GSM-R network is managed by RFI (Rete Ferroviaria Italiana). It is based on GSM standard technology and is described

^(*) Studente PhD, Facoltà di Ingegneria, Università Roma "Tor Vergata", RFI.

^(**) Direzione Tecnica Rete Ferroviaria Italiana.

^(***) Facoltà di Ingegneria, Università Roma "Tor Vergata".

^(*) PhD student, Faculty of Engineering, University of Rome "Tor Vergata" and RFI Inc.

^(**) Technical Department Rete Ferroviaria Italiana.

^(***) Faculty of Engineering, University of Rome "Tor Vergata".

direttamente al treno, consentendo maggiore velocità dei treni e maggiore densità di traffico garantendo un elevato livello di sicurezza [9]. Tuttavia, il GSM-R ha una bassa capacità di informazione del canale (circa 13 kbit/s massima ma la netta è minore). Ciò è sufficiente per la comunicazione vocale poiché le chiamate vocali sono limitate nel tempo e non occupano risorse in modo continuo. Il GSM-R presenta alcune gravi carenze, ad esempio non è in grado di supportare adeguatamente la velocità dei servizi dati, ciò è insufficiente per nuovi servizi con larghezza di banda elevata. Il futuro sistema di comunicazione radio deve soddisfare tutte le esigenze e i nuovi requisiti caratteristici per le ferrovie e dovrà anche essere utilizzato per migliorare l'efficienza operativa, importanti esigenze di comunicazione dei passeggeri e per creare efficienti servizi ferroviari. Il *Future Railway Mobile Communication System* (FRMCS) per HSR (*High Speed Railway*) può migliorare il funzionamento del treno consentendo a un centro operativo di monitorare in tempo reale le informazioni sui dati relativi al treno, come le informazioni di sicurezza e le informazioni diagnostiche sui binari.

2. Applicazione del 5G in Ferrovia

Si è accennato ai limiti del GSM-R, in quanto la capacità attuale di tale sistema risulta insufficiente per i servizi ferroviari di prossima generazione. Attualmente, ogni treno deve stabilire una connessione dati continua con un *radio block center* (RBC) e ogni connessione RBC deve occupare costantemente uno degli otto *time slot* di una portante GSM.

La velocità di trasmissione dati netta del GSM-R per connessione dati è 9,6 kbit/s, sufficiente solo per applicazioni con larghezza di banda ridotta. I servizi futuri necessitano di una maggiore capacità che può essere aumentata utilizzando un nuovo sistema e maggiori risorse spettrali.

A questo proposito il 5G garantisce tempi di ritardo molto bassi e velocità di trasmissione dati elevate. Una grande quantità di dati trasmessi si traduce in una grande possibilità di ridondanza e quindi implicitamente in un incremento della protezione della rete. Gli autori studieranno specifici meccanismi per garantire la protezione della rete e del servizio (ad esempio, *protection switching, restoration*). Ciò sarà trattato in articoli futuri.

Con il rapido sviluppo delle HSR, è essenziale avere un sistema di comunicazioni a banda larga affidabile per i diversi componenti delle HSR, come il controllo dei treni e le comunicazioni relative alla sicurezza. L'implementazione del 5G Railway consentirà comunicazioni di massa con:

- *Internet of Things* (IoT).
- Realtà aumentata.
- Monitoraggio in tempo reale.
- Mobilità ad alta velocità.
- *Network slicing*.

by specific railway functions [1] and [2]. GSM-R is part of the European Rail Traffic Management System (ERTMS) standard and carries the signaling information directly to the train, enabling higher train speeds and traffic density with a high level of safety [9]. However, GSM-R has a low channel information capacity (about 13 kbit/s). This is sufficient for voice communication as voice calls are limited in time and do not occupy resources continuously. GSM-R has some major shortcomings, such as limited support as speed to data services, that are insufficient for new services with high bandwidth. The Future radio communication system must meet all the railway specific present and upcoming needs and requirements and also will have to be used to improve operational efficiency, passenger experience and to create important Railway services. The Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) for HSR (High Speed Railway) can enhance the train operation by allowing an operations center to monitor real-time train-related data information, such as safety information and track diagnostic information.

2. 5G Railway applications

The limitations of GSM-R have been mentioned, as the current capacity turns out to be insufficient for the next-generation railway services. Actually, each train needs to establish a continuous data connection with a radio block center (RBC), and each RBC connection needs to constantly occupy one of the eight time slots of a GSM carrier.

The maximum transmission data rate of GSM-R per data connection is 9.6 kbit/s, which is sufficient only for low bandwidth applications. The future services need more capacity that can be increased by using more spectral resources.

In this regard 5G ensures very low delay times and high data rates. A large amount of data transmitted results in a great possibility of redundancy and therefore implicitly in network protection. However, it will be necessary to study specific network protection mechanisms to ensure network and service protection (e.g. protection switching, restoration). The authors will analyze this in the next article.

With the rapid development of HSRs, a reliable broadband communications system will be essential for different HSR components, such as train control and safety-related communications. The implementation of 5G Railway shall permit mass communications with:

- *The Internet of Things (IoT).*
- *Augmented reality.*
- *Real-time monitoring.*
- *High speed mobility.*
- *Network slicing.*

Low delay times allow data transmission without re-

I tempi di ritardo ridotti consentono la trasmissione dei dati senza ridurre la disponibilità del sistema. Questa è una caratteristica molto importante, per il sistema di segnalamento ferroviario.

Tale requisito è molto importante per consentire l'eliminazione di cavi e fibre ottiche in alcune applicazioni di comando e controllo per dispositivi quali: passaggi a livello, circuiti di binario, rilevatori di temperatura delle boccole, controllo dell'integrità dei binari ecc.

Va ricordato che, nelle ferrovie, un ritardo nelle comunicazioni radio non è rilevante per la sicurezza ma solo per la disponibilità. Infatti un sistema sicuro, nel caso si presenti un eccessivo ritardo nello scambio di messaggi, si porta in uno stato predeterminato e quindi non pericoloso, perciò detto sistema può non rispettare i requisiti minimi di disponibilità, ma certamente rispetta i requisiti imposti dal suo livello di sicurezza.

IoT: IoT è considerato parte di Internet del futuro e comprenderà miliardi di "oggetti" di comunicazione intelligente. Il futuro di Internet sarà costituito da dispositivi connessi in modo eterogeneo che estenderanno ulteriormente i confini del mondo con entità fisiche e componenti virtuali. *Internet of Things* (IoT) potenzierà gli "oggetti" connessi con nuove funzionalità. Lo sviluppo dell'IoT coinvolge molti aspetti come infrastruttura, comunicazioni, interfacce, protocolli e standard. Le parole "Internet" e "Things" indicano una rete mondiale interconnessa basata su tecnologie sensoriali, di comunicazione, di rete e di elaborazione delle informazioni, che potrebbero essere la nuova versione della tecnologia dell'informazione e della comunicazione (*information and communications technology* ICT) ([24] [25]). Per le esigenze ferroviarie l'IoT può essere utilizzato per ottimizzare interventi di manutenzione e aumentare la disponibilità e la produttività degli asset ferroviari, nonché per facilitare standard di protezione più elevati. Con i sensori IoT è possibile realizzare nuovi servizi nell'infrastruttura ferroviaria semplificando la progettazione e riducendo i costi. I sensori IoT, infatti, sono sensori speciali con costi contenuti alimentati da batterie a lunga durata. È possibile utilizzare vari tipi di sensori IoT ad esempio per ottenere informazioni vibrazionali e termiche in tempo reale. Nel laboratorio RFI (Osmannoro-Firenze) il dipartimento "Ricerca e Sviluppo" sta già effettuando diversi test nel settore ([21] [22] [23]).

Di seguito si riportano alcuni tipi di sensori:

Sensori di temperatura IoT: la temperatura del binario è un parametro importante per il sistema ferroviario, in quanto è un eccellente indicatore delle sollecitazioni interne del binario. La sollecitazione interna delle rotaie è indotta dalla sua espansione termica in diverse condizioni ambientali, che potrebbe portare a deformazioni delle rotaie e rappresentare un potenziale pericolo di deragliamenti. Le variazioni di lunghezza dei binari sono determinate dall'aumento o dalla diminuzione della temperatura dell'ambiente. Questo porta a deformazioni o disallineamenti dei binari pericolosi per la sicurezza del movimento del treno [14]. In un binario è necessario controlla-

ducendo system availability. This feature is very important, for the Railway signalling system.

This requirement is very important to allow the elimination of cables and optical fibres in some command-and-control applications for devices such as: level crossings, track circuits, bushing temperature detectors, track integrity control etc.

The authors remind you that, on railways, a delay in radio communication is not relevant for safety but only for availability. In fact, in a safety system, if there is an excessive delay in the exchange of messages, it goes into a safety state, so it may not meet the minimum availability requirements, but it respects the requirements imposed by its safety level.

IoT: IoT is considered part of the Internet of the future and will comprise billions of intelligent communicating 'things'. The future of the Internet will consist of heterogeneously connected devices that will further extend the borders of the world with physical entities and virtual components. The Internet of Things (IoT) will empower the connected things with new capabilities. The development of IoT involves many issues such as infrastructure, communications, interfaces, protocols, and standards. The words "Internet" and "Things" mean an inter-connected worldwide network based on sensors, communication, networking, and information processing technologies, which might be the new version of information and communications technology (ICT) ([24] [25]). For railway needs IoT can be used to predict maintenance requirements and increase the availability and productivity of rail assets, as well as to facilitate higher standards of protection. With IoT sensors, it is possible to deploy new services in the Railway infrastructure simplifying design and reducing costs. In fact, IoT sensors are special sensors with limited costs and long life battery. It is possible to use two type of IoT sensors which send vibrational and thermal information in real time. In RFI laboratory (Osmannoro-Florence) the department "Ricerca e Sviluppo" is carrying out various tests with these sensors ([21] [22] [23]).

Some sensors are reported in the following below:

IoT Temperature sensors: Rail-temperature is an important parameter of railway tracks, as it is an excellent indicator of the internal stress of the rail. The internal stress of the rails is induced by its thermal expansion at different ambient conditions, which might lead to rail-buckling that poses a potential derailment-hazard. Changes in the length of the tracks are determined by the increase or decrease of the ambient temperature. This leads to deformations or misalignments of the tracks which are harmful to the safety movement of train [14]. In a track it is necessary to check the temperature in order to evaluate from time to time the opportunity to a new setting in the event that deviations of more than 3 °C are recorded [15]. With IoT temperature sensors it is possible to have continuous temperature monitoring of the tracks, without the need for human interven-

re la temperatura per valutare di volta in volta l'opportunità di una nuova regolazione necessaria nel caso in cui si registrino scostamenti superiori a 3 °C [15]. Con i sensori di temperatura IoT è possibile avere un monitoraggio continuo della temperatura dei binari, senza necessità di intervento umano diverso dall'installazione. I sensori IoT possono raccogliere via radio misure di temperatura geolocalizzate a lunga distanza e in tempo reale da inviare alla stazione di monitoraggio. È possibile definire soglie di temperatura (tramite interfaccia web) per informare i team di manutenzione dello stato della rete ferroviaria.

Sensori vibrazionali IOT: L'analisi delle vibrazioni dell'infrastruttura ferroviaria [26] [27] è spesso focalizzata sulla previsione dei relativi effetti, per valutare possibili conseguenze pericolose su persone e sistemi [16]. Questa analisi è importante per determinare tra l'altro il rumore, il degrado della massicciata e per la manutenzione dei binari.

I fenomeni di rumore e vibrazione che preoccupano le ferrovie includono:

- Rumore di rotolamento ruota-rotaia [17] - questo rumore a banda larga è causato dalle vibrazioni di ruote e rotaie che sono eccitate dal contatto con le irregolarità delle superfici di rotolamento. Questa è la principale fonte di rumore delle operazioni ferroviarie. Questo rumore tonale acuto è una grave causa di fastidio per coloro che vivono adiacenti alla ferrovia ([16] [18] [19]).
- Rumore da impatto generato in corrispondenza di discontinuità e punti particolari nel binario o nella ruota, ad esempio punti e incroci, giunti di rotaie, saldature o ruote piatte.
- Vibrazione percepibile, a bassa frequenza trasmessa dal suolo: tale vibrazione si verifica in un terreno soffice e si propaga parallelamente alla superficie del suolo con un basso tasso di attenuazione con la distanza. Ciò è particolarmente preoccupante per le operazioni di trasporto con assi pesanti.
- Rumore rimbombante dei treni nelle gallerie (rumore di origine terrestre) - questo è generato quando la vibrazione del binario viene trasmessa attraverso il suolo e irradiata come suono all'interno degli edifici dalle vibrazioni delle loro pareti ([16] [18]). Può essere particolarmente fastidioso in quanto proviene da una fonte che non può essere vista e non è possibile lo screening.
- Rumore irradiato dai ponti: la vibrazione del binario viene trasmessa alla struttura del ponte che a sua volta irradia suoni a bassa frequenza. Ciò può aumentare il livello complessivo di rumore vicino ai ponti fino a 20 dB.

Una corretta manutenzione del binario, compresi i suoi vari componenti, è importante dal punto di vista della sicurezza e dell'affidabilità. Questo è importante anche perché l'emissione di rumore può essere ridotta in modo significativo da una strategia di manutenzione ottimizzata. I sensori di vibrazione IoT sono una soluzione ottimale.

In molti settori, tra cui le ferrovie ([21] [22] [23]), emissioni acustiche, spontanee o stimolate, sono utilizza-

tion other than installation. The IoT sensors can collect over long distance and in real time geolocated temperature measurements to send this information to control room. The solution consists of connected sensors positioned on a piece of rail. Temperature thresholds can be defined (via web interface) to inform maintenance teams of the status of the network.

IoT vibrational sensors: The railway traffic vibrations analysis [26] [27] is often focused on the forecast of the related effects, to evaluate possible dangerous effects on people and infrastructure [16]. This analysis is important in determining noise, degradation of the ballast and track maintenance. The interaction between wheel and rail is one of the main causes of noise generation when a train is passing by. Noise and vibration phenomena of concern about railways include:

- Wheel-rail rolling noise [17] - this broad-band noise is caused by wheel and rail vibrations which are excited by contact with the irregularities of the running surfaces. This is the dominant source of noise from railway operations. This high pitched tonal noise is an acute cause of annoyance to those living adjacent to the railway ([16] [18] [19]).
- Impact noise generated at discontinuities and severe features in the track or wheel, e.g. points and crossings, rail joints, welds or flat wheels.
- Feelable, low frequency ground-borne vibration - such vibration occurs in locations of soft soil and propagates parallel to the ground surface with a low rate of attenuation with distance. This is of particular concern for heavy axle freight operations.
- Rumbling noise from trains in tunnels (ground-borne noise) - this is generated as vibration of the track is transmitted through the ground and radiated as sound within buildings by vibration of their walls ([16] [18]). It can be particularly annoying as it comes from a source that cannot be seen and no screening is possible.
- Noise radiated from bridges - the vibration of the track is transmitted into the bridge structure which in turn radiates low frequency sound. This can raise the overall level of noise near bridges by up to 20 dB.

Proper maintenance of the track, including its various components, is important from a safety and reliability point of view. This is important as noise emission can be reduced significantly by an optimized maintenance strategy. IoT vibration sensors are an optimal solution.

In a lot of areas, including railways ([21] [22] [23]), the use of acoustic emissions, spontaneous or stimulated, are used as inputs of systems for the surveillance and maintenance of the systems. A lot of study have been carried out to the infrastructure, armaments and vehicle.

te come input di sistemi per la sorveglianza e la manutenzione degli impianti. Sono stati effettuati molti studi su infrastrutture, armamenti ferroviari e veicoli.

Realtà aumentata: un altro cambiamento importante in questo settore riguarda la realtà aumentata (*augmented reality* AR). Una delle tecnologie più popolari dell'ultimo decennio, la realtà aumentata mostra anche una potenziale utilità per le applicazioni ferroviarie, fornendo un approccio tridimensionale tanto necessario a segmenti del settore che sono stati a lungo trascurati, come la manutenzione e la formazione. AR può aiutare la manutenzione. La Realtà Aumentata consente di controllare da remoto lo stato dei binari e delle infrastrutture ferroviarie e, se combinata con altre tecnologie, inclusi sensori e intelligenza artificiale, può fornire un grande supporto alla manutenzione predittiva. Gli *smartglass* in dotazione al personale tecnico consentono di collegarli al personale in ufficio e di intervenire più rapidamente nella risoluzione dei problemi. Ad esempio, il capotreno (con il suo *smartglass*) che osserva il posto può avere tutte le informazioni sulla prenotazione.

Monitoraggio in tempo reale: grazie alla tecnologia 5G è possibile fornire alle ferrovie una serie di nuovi servizi [13] come monitoraggio video delle condizioni dei binari e delle infrastrutture ferroviarie (es. ponti e gallerie).

Questi servizi sono importanti per fornire il monitoraggio video dell'infrastruttura, semplificare la progettazione e ridurre i costi di implementazione.

Inoltre, i servizi di videosorveglianza esistenti potrebbero essere integrati in un'unica rete 5G. In questo modo le ferrovie potranno fornire gli stessi servizi ma con una rete a banda larga e costi contenuti.

Mobilità ad alta velocità: i treni ad alta velocità di solito viaggiano a una velocità di 300-350 km/h [3] [8], per supportare tale velocità è necessaria una rete progettata per esserlo. L'alta velocità si traduce in un canale radio non stazionario fortemente distorto in frequenza perché, in un breve intervallo di tempo, il treno percorre un lungo tratto. Data una dimensione di cella di 1-2 km, un treno ad alta velocità da 300 km/h subisce un *handover* ogni 10-20 s [4]. Risolvere il problema del frequente *handover* è una delle principali funzioni di RRM [6] (*Radio Resource Management*) nelle comunicazioni HSR. Il treno in movimento incontra diversi scenari (es. sezionamenti, viadotti e gallerie) con differenti caratteristiche di propagazione del canale ([5] [7]).

Gli obiettivi del 5G ferroviario sono quindi capacità, flessibilità, alta disponibilità, bassi ritardi, *slicing* e qualità del servizio (QoS) garantita.

Network slicing: *Network slicing* [28] è una rete *end-to-end* isolata costruita su misura per soddisfare i diversi requisiti di una particolare applicazione. Per questo motivo, gioca un ruolo centrale nel supportare le reti mobili ferroviarie. L'architettura di *network slicing* (Fig. 1) può essere considerata composta da due blocchi di rete, uno

Augmented reality: Another important change in this sector concerns augmented reality (AR). One of the most popular technologies of the last decade, augmented reality is also showing significant potential for rail applications, providing a much-needed three-dimensional approach to segments of the sector that have long been limited, such as maintenance and training. AR can assist with maintenance. Augmented Reality allows you to remotely control the status of the tracks and railway infrastructure and, when combined with other technologies, including sensors and artificial intelligence, can provide a great deal of support with predictive maintenance. The smartglasses supplied to the technical staff permit them to be connected to the staff in the office and to intervene more quickly in solving problems. The chief conductor (with his smartglasses) looking the place can have all information about the reservation.

Real-time monitoring: The 5G can be used, for services that still don't exist [13] as video monitoring of the rail track conditions and railway infrastructures (e.g., bridges and tunnels).

These services are important to provide infrastructure video monitoring, simplifying design and reduce implementation costs.

Furthermore, the existing video surveillance services, could be integrated into a single 5G network. In this way the railways will be able to provide the same services but in a network with broad band and low costs.

High speed mobility: High-speed trains usually run at a speed of 300-350 km/h [3] [8], and a network designed to support high speed is required. The high speed results in a strongly frequency distorted non stationary channel because, in a short segment of time, the train travels over a large region. Given a cell size of 1-2 km, at 300 km/h high-speed train of experiences a handover every 10-20 s [4]. Solving the problem of frequent handover is one of the main functions of RRM [6] (*Radio Resource Management*) in HSR communications. The moving train encounters different scenarios (e.g. cuttings, viaducts and tunnels) with different channel propagation characteristics ([5] [7]).

5G railway goals are capacity, flexibility, high availability, few delay, slicing and guaranteed Quality of service (QoS).

Network slicing: Network slicing [28] is an isolated end-to-end network tailored to fulfil the different requirements of a particular application. For this reason, this plays a central role in supporting railway mobile networks. The network slicing architecture (Fig. 1) can be considered composed by two network blocks, one dedicated to the actual slice implementation and the other dedicated to the

dedicato all'implementazione dello *slice* vero e proprio e l'altro dedicato alla gestione e configurazione dello *slice*. Il primo blocco consiste di tre strati:

- livello di servizio;
- livello di funzione di rete;
- livello di infrastruttura;

dove ognuno contribuisce alla definizione e alla distribuzione delle *slice* con attività distinte.

Il livello di servizio si interfaccia direttamente con le entità aziendali di rete (ad es. Operatore di telefonia mobile virtuale e fornitori di servizi di terze parti) che condividono la rete fisica sottostante e fornisce una visione unificata dei requisiti del servizio.

Il livello della funzione di rete è responsabile della creazione di ciascuna porzione di rete in base alle richieste di istanze di servizio dal livello superiore. È composto da un insieme di funzioni di rete che incorporano comportamenti e interfacce ben definiti. Più funzioni di rete sono collocate sull'infrastruttura di rete virtuale e concatenate insieme per creare un'istanza di *slice* di rete *end-to-end* che riflette le caratteristiche di rete richieste dal servizio [20]. La configurazione delle funzioni di rete viene eseguita tramite un set di operazioni di rete che consentono la gestione del loro intero ciclo di vita (dalla loro collocazione quando viene creata una *slice* alla rimozione quando la funzione fornita non è più necessaria).

Il livello infrastruttura rappresenta l'effettiva topologia di rete fisica (rete di accesso radio, rete di trasporto e rete core) su cui ogni *slice* di rete è multiplexato e fornisce le risorse di rete fisiche per ospitare le diverse funzioni di rete che compongono ogni *slice*.

Il secondo blocco è progettato come un'entità di rete centralizzata, genericamente denominata *network slice controller* di rete, che monitora e gestisce le funzionalità tra i tre livelli al fine di coordinare in modo efficiente la coesistenza di più *slice*.

Network Slicing è destinato ad essere una caratteristica importante per abilitare la connettività e l'elaborazione dei dati su misura per i requisiti specifici delle ferrovie. Le comunicazioni mobili fornite dalle reti intelligenti miglioreranno l'efficienza e la produttività dei processi e apriranno opportunità per la rete ferroviaria per fornire nuovi servizi.

Network slice è una rete logica che serve uno scopo aziendale definito, costituita da tutte le risorse di rete richieste configurate insieme. Il *network slice* delle ferrovie consente miglior servizio passeggeri, servizi video, sensori IoT lungo i binari e a bordo e il controllo automatico dei treni.

Network slicing è una possibilità importante per le ferrovie. Consente di adattare la complessità della rete a quel servizio o all'insieme di servizi che interessano. Con lo *slicing* di rete è possibile raggruppare servizi con le stesse criticità e costruire una rete con i protocolli più adatti.

slice management and configuration. It consists of three layers:

- *service layer;*
- *network function layer;*
- *infrastructure layer;*
- *where each one contributes to the slice definition and deployment with distinct tasks.*

The service layer interfaces directly with network business entities (e.g. Virtual Mobile Operator and third party service providers) that share the underlying physical network and provides a unified vision of the service requirements.

The network function layer is responsible for creating each network slice based on service instance requests from the upper layer. It is composed of a set of network functions that incorporate well-defined behaviors and interfaces. Multiple network functions are placed over the virtual network infrastructure and chained together to create an end-to-end network slice instance that reflects the network characteristics required by the service [20]. The configuration of the network functions is performed through a set of network operations that allow the management of their entire life-cycle (from positioning their placement when a slice is created to displacement when the provided function is no longer needed).

The infrastructure layer represents the actual physical network topology (radio access network, transport network and core network) on which each network slice is multiplexed and provides the physical network resources to host the different network functions that make up each slice.

The second block is designed as a centralized network entity, generically referred to as a network slice controller, which monitors and manages the functionalities between the three layers in order to efficiently coordinate the coexistence of multiple slices.

Network Slicing is intended to be a prominent feature to enable connectivity and data processing tailored to specific railways' requirements. Mobile communications provided by smart networks will enhance process efficiency and productivity and open up opportunities for the railway network to address new services.

The network slice is a logical network that serves a defined business purpose, consisting of all required network resources configured together. Railway network slice allows for improved passenger service, video, IoT sensors along the tracks and on board and automatic train control.

Network slicing is an important possibility for railways. Allows you to adapt the complexity of the network to that service or set of services that you are interest in. With network slicing it is possible to separate services with the same criticalities and build a network with the most suitable protocols.

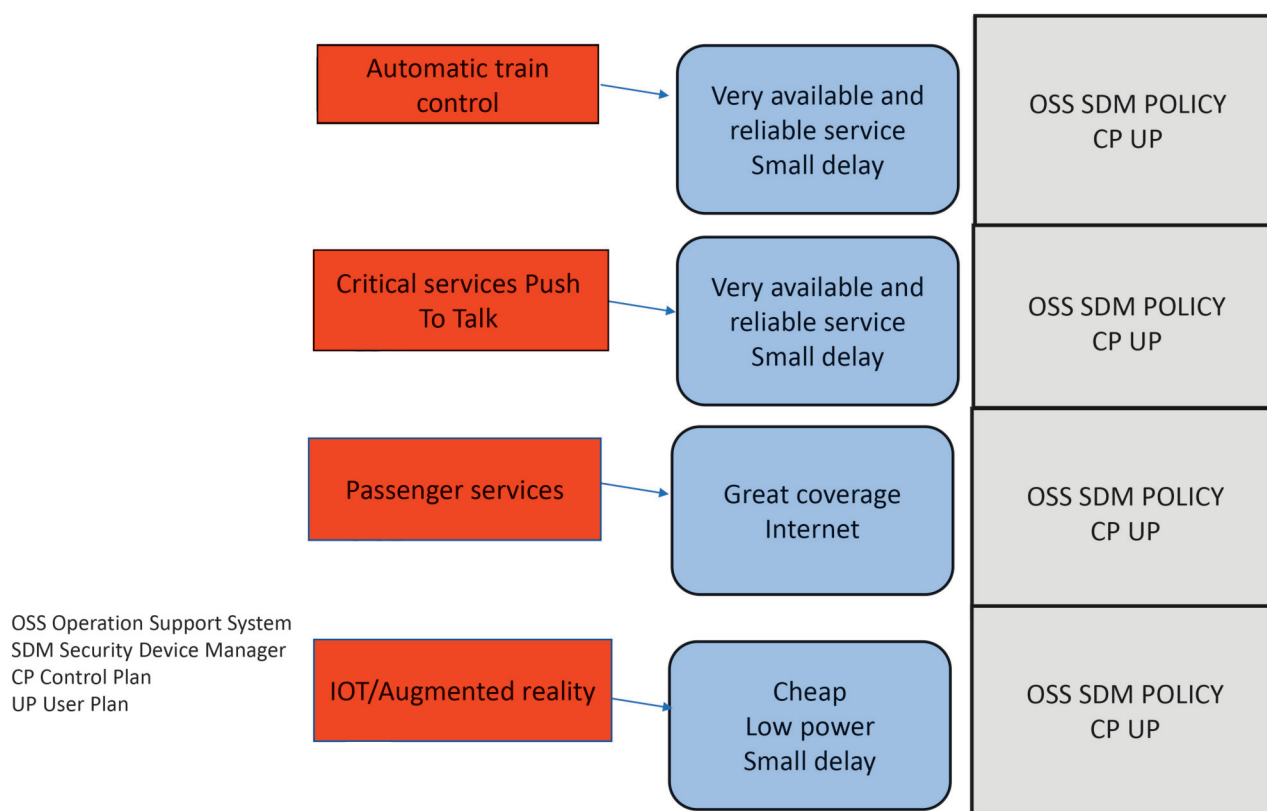


Figura 1 – Architettura del *network slicing*.
 Figure 1 – Network slicing architecture.

Network slicing può supportare più *slices* verticali con gli stessi requisiti. Invece di perseguire il design “taglia unica”, *network slicing* tende a supportare questa diversità funzionale e opzionale.

Networks slicing can support a number of vertical slices with the same requirements. Instead of pursuing the “one size fits all” design, *network slicing* seeks to support this functional and optional diversity.

3. 5G-Railway

Le comunicazioni di quinta generazione (FRMCS) promettono di plasmare il futuro delle ferrovie offrendo ritardo estremamente basso e affidabilità elevatissima. 5G-Railway fornisce *Quality of Service* (QoS) nelle reti wireless, anche quando gli utenti si spostano ad altissima velocità. I servizi ferroviari *mission critical* richiedono maggiore affidabilità, disponibilità e garanzie di sicurezza, mentre i requisiti di servizi aggiuntivi si basano principalmente sulla larghezza di banda. In qualunque modo, questi aspetti sono estremamente importanti per il progresso dei sistemi di traffico ferroviario intelligente. Al fine di migliorare le prestazioni del sistema e soddisfare requisiti di QoS eterogenei, è fondamentale progettare schemi RRM (*Radio Resource Management*) e metodi di ottimizzazione delle risorse efficaci per trasmissioni di servizi multipli nelle comunicazioni HSR (*High Speed Railway*). Nel caso di una rete con traffico eterogeneo (applicazioni critiche per la sicurezza, prioritarie e di al-

3. 5G-Railway

Fifth- generation communications (Future Railway Mobile Communication System FRMCS) promise to shape the future of the railways by offering ultra-low latency and ultra-high reliability. 5G-Railway provides Quality of Service (QoS) in wireless networks, even when users move at very high speed. Mission critical Railway services requires increased reliability, availability, and safety assurances, while additional services requirements are primarily based on bandwidth capacity. However, these aspects are highly important for advancing smart rail traffic systems. In order to improve system performance and meet heterogeneous QoS requirements, it is critical to design effective RRM (Radio Resource Management) schemes and resource optimization methods for multiple services transmissions in HSR (High speed Railway) communications. In the case of a network with heterogeneous traffic (safety-critical, priority and other applications), packet admission

tro tipo), i meccanismi di accettazione dei pacchetti e di prioritizzazione sono essenziali. Questi meccanismi influenzano direttamente le prestazioni di trasmissione [5]. Per la trasmissione di messaggi ETCS da RBC al treno (segnalamento ferroviario) si prevedono bassi ritardi (1 msec all'interfaccia radio, 5 msec *end to end*) e tassi di errore di pacchetto estremamente bassi 10^{-6} . La velocità dei dati, d'altro canto, non è principalmente rilevante a causa delle piccole capacità di trasmissione. Anche la comunicazione vocale richiede bassi ritardi. Il tasso di errore dei pacchetti (10^{-2}) [10] non deve necessariamente essere basso, poiché metodi di tolleranza agli errori vengono utilizzati dal codec vocale. In altri contesti, (ad esempio video in tempo reale), la larghezza di banda è di maggiore importanza. Maggiore è la larghezza di banda disponibile, più potenti e di migliore qualità possono essere i codec utilizzati. Per una comunicazione vocale ininterrotta, anche la relativa larghezza di banda deve essere garantita. Per garantire le particolari esigenze delle QoS richiesta, in questo articolo sono proposti i 5G QoS Identifier [12]. Il documento [12] si riferisce ai valori QoS 5G per i sistemi 5G pubblici. Non è caratteristico per il sistema ferroviario. Gli autori sono partiti come input dai valori dei servizi pubblici e hanno studiato come questi valori possono essere adattati (quando possibile) nei servizi ferroviari.

4. 5G QoS Identifier

5G QoS Identifier (5QI) è un meccanismo utilizzato nelle reti per garantire che il flusso di traffico (*traffic bearer*) sia trattato in modo appropriato a seconda del servizio utilizzato. Differenti *bearer* di traffico richiedono differenti QoS e quindi differenti valori di QI (QoS Identifier). Per garantire che i *bearer* di traffico nelle reti siano gestiti in modo appropriato, è necessario un meccanismo per classificare i diversi tipi di *bearer* in classi diverse, ove ogni classe possiede parametri QoS appropriati in base al tipo di traffico.

In questo articolo si esamina lo sviluppo dei futuri servizi ferroviari, è proposta una possibile parametrizzazione del modello 5G QoS adattato alle esigenze ferroviarie.

Il modello 5G QoS è caratterizzato dai seguenti parametri:

1. *Resource Type* (Guaranteed Bit Rate GBR, Delay critical GBR or no Guaranteed Bit Rate Non-GBR) [12];
2. *Priority level* [12];
3. *Packet Delay Budget* [12];
4. *Packet Error Rate* [12];
5. *Averaging window* (solo per il tipo di risorsa GBR e GBR critico per il ritardo) [12];
6. *Maximum Data Burst Volume* (solo per il tipo di risorsa Guaranteed Bit Rate GBR, Delay critical GBR) [12].

and prioritization mechanisms are essential. These mechanisms directly affect transmission performance [5]. For the transmission of ETCS messages from RBC to train (railway signaling) short latency (1 m sec radio interface, 5 m sec end to end) and extremely low 10^{-6} packet error rates are expected. Data rate, on the other hand, is not primarily relevant due to small transmission capacities. Voice communication also requires low latencies. The packet error rate (10^{-2}) [10] does not necessarily need to be low, as error tolerant methods are used by the speech codec. In other contexts, (for example real time video), bandwidth is of greater importance. The higher the available bandwidth, the more powerful and better quality codecs can be used. For uninterrupted voice communication, this bandwidth must also be guaranteed. To guarantee the special needs of the required QoS, in this article the 5G QoS Identifier have been proposed [12]. The document [12] is used for 5G QoS values for public 5G systems. It is not characteristic for railway system. The authors started as input from the public services values and studied how these values can be adapted (when possible) in railway services.

4. 5G QoS Identifier

5G QoS Identifier (5QI) is a mechanism used in networks to ensure that bearer traffic is appropriately allocated depending on the service used. Different bearer traffic requires different QoS and therefore different QI (QoS Identifier) values. To ensure that bearer traffic in networks is appropriately handled, a mechanism is needed to classify the different types of bearers into different classes, with each class having appropriate QoS parameters for the traffic type.

In this article, the authors have analyzed the development of future railway services. A possible parameterization of the 5G QoS model has been analyzed. 5 G QoS has been adapted to railway needs.

The 5G QoS Model is characterized by following parameters:

1. *Resource Type* (Guaranteed Bit Rate GBR, Delay critical GBR or no Guaranteed Bit Rate Non-GBR)[12];
2. *Priority level* [12];
3. *Packet Delay Budget* [12];
4. *Packet Error Rate* [12];
5. *Averaging window* (for GBR and Delay-critical GBR resource type only) [12];
6. *Maximum Data Burst Volume* (for Delay-critical GBR resource type only) [12].

The Resource Type determines whether dedicated network resources related to a Guaranteed Flow Bit Rate

Il tipo di risorsa (*Resource Type*) determina se le risorse di rete dedicate relative a un *Guaranteed Flow Bit Rate* (GFBR) a livello di *QoS Flow* sono allocate in modo permanente. Sono disponibili i seguenti tipi di risorse.

- GBR.
- Non GBR.
- Delay-critical GBR.

Il livello di priorità (**Priority level**) associato alle caratteristiche QoS 5G indica una priorità nella assegnazione delle risorse tra i *QoS Flows*. Il valore del livello di priorità più basso corrisponde alla priorità più alta.

Il **Packet Delay Budget** (PDB) definisce un limite superiore per il tempo in cui un pacchetto può essere ritardato tra UE (*User Equipment*) e UPF (*User Plane Function*).

Il **Packet Error Rate** (PER) definisce un limite superiore per il rate dei PDU (*Packet Data Unit* ad es. Pacchetti IP) che sono stati elaborati dal mittente di un protocollo di livello *link layer*, ma che non sono stati consegnati correttamente dal corrispondente ricevitore al livello superiore.

Averaging window rappresenta la durata su cui devono essere calcolati GFBR e MFBR (*Maximum Flow Bit Rate*).

Maximum Data Burst Volume indica la massima quantità di dati che il 5G-AN (*5G Access Network*) deve fornire entro un intervallo di 5G-AN PDB (*5G Access Network Packet Delay Budget*)

Mapping of Critical service for Railway

La performance complessiva di un servizio è garantita dalla QoS (qualità del servizio). I servizi ferroviari critici vengono descritti nel documento [11]. I servizi standard 5G definiti da ETSI sono riportati nel documento [12] e si presume che vengano utilizzati in una rete 5G standard. Si sono confrontate le caratteristiche dei servizi critici ferroviari con i servizi 5G e poi si è eseguita la mappatura uno a uno dei servizi Critici Ferroviari [11] con le caratteristiche QoS 5G specificate in [12]. I risultati sono mostrati nella Tab. 1.

Secondo [11] i servizi critici sono i seguenti:

1) *Automatic train operation (ATO) communication*: il sistema ATO deve essere supportato da un *bearer* di comunicazione affidabile in modo da garantire un trasferimento efficiente dei dati tra il sistema di bordo e il sistema di terra, o tra un treno e altri treni o tra un treno e altri elementi a terra. Questa applicazione può includere video in tempo reale tra il sistema di bordo e il sistema di terra (ad esempio, una telecamera anteriore montata sul treno) o tra altri componenti del sistema ATO.

2) *Data communication for Possession management*: L'applicazione deve supportare i processi coinvolti per la occupazione di un'area dell'infrastruttura ferroviaria uti-

(GFBR) at the QoS Flow-level are permanently allocated. The following types of resource are available

- GBR.
- Non-GBR.
- Delay-critical GBR.

The **Priority Level** associated with 5G QoS characteristics indicates a priority in scheduling resources among QoS Flows. The lowest Priority Level value corresponds to the highest priority.

The **Packet Delay Budget** (PDB) defines an upper bound for the time that a packet may be delayed between the UE (user equipment) and the UPF (User Plane Function).

The **Packet Error Rate** (PER) defines an upper bound for the rate of PDUs- (Packet Data Unit e.g. IP packets) that have been processed by the sender of a link layer protocol, but that are not successfully delivered by the corresponding receiver to the upper layer.

The **Averaging window** represents the duration over which the GFBR and MFBR (Maximum Flow Bit Rate) shall be calculated.

Maximum Data Burst Volume denotes the largest amount of data that the 5G-AN (5G Access Network) is required to serve within a period of 5G-AN PDB (5G Access Network Packet Delay Budget).

Mapping of Critical service for Railway

The overall performance of a service is guaranteed by QoS (quality of service). Critical Railway services are described in the document [11]. The 5G standard services defined by ETSI are described in the document [12] and are assumed to be use in a standard 5G network. The authors compared the characteristics of the railway critical services with the 5G services and then they did the one-to-one mapping of the Critical service for the Railway values [11] with the 5G QoS characteristics specified in [12]. The results are shown in Tab. 1.

According to [11] the critical services are the following:

1) *Automatic train operation communication*: The ATO system shall have a reliable communication bearer in order to ensure efficient data transfer between the on-board unit and the ground system, or between a train and other trains or between a train and other trackside elements. This application may include real time video between the on-board and the ground system (for example, a train mounted front camera) or between other ATO system component.

2) *Data communication for Possession management*: The application shall support the processes involved in taking possession of an area of railway infrastructure for engineering purposes (for example for track maintenance). This

lizzata ai fini ingegneristici (ad esempio per la manutenzione dei binari). Questa applicazione ha lo scopo di consentire ai manutentori di terra di assumere il controllo remoto degli elementi dell'infrastruttura per eseguire lavori di ingegneria in sicurezza. L'applicazione fornisce il *bearer* di comunicazione in modo sicuro e protetto.

3) *Trackside maintenance warning system communication*: il sistema di avviso di manutenzione a terra deve essere in grado di avviare la comunicazione dei dati agli addetti alla manutenzione di terra nell'area appropriata.

4) *Remote control of engines communication*: deve essere possibile instaurare la comunicazione dati tra un motore e un sistema di terra per controllare il motore. Il conducente da remoto può azionare il motore tramite il sistema di terra. Questa applicazione abilita e consente il movimento telecomandato dei treni tipicamente in operazioni di manovra presso i depositi, per smistamento e/o su massicciata.

5) *Monitoring and control of critical infrastructure*: deve essere possibile instaurare la comunicazione dati tra i sistemi di infrastruttura e un sistema a terra o su treno al fine di monitorare o controllare le infrastrutture critiche come il rilevamento dei treni, segnali e indicatori, infrastrutture mobili, elementi di attraversamento di livello, compresi i sensori di controllo delle barriere dei veicoli, i controlli di illuminazione e gli allarmi.

6) *Railway emergency communication*: un utente autorizzato deve essere in grado di instaurare una comunicazione di emergenza ferroviaria verso altri utenti all'interno di un'area o di un gruppo configurati automaticamente, basati sulla posizione o sulle caratteristiche dell'originatore e sugli utenti che potrebbero essere interessati dall'emergenza.

7) *Train integrity monitoring data communication*: il sistema di monitoraggio dell'integrità del treno deve avere un *bearer* di comunicazione affidabile al fine di garantire il trasferimento dei dati relativi alla sicurezza tra i componenti che controllano l'integrità del treno.

8) *Critical Real time video*: questa applicazione facilita la comunicazione dei dati per la trasmissione in tempo reale di immagini video ("immagine video" può anche riferirsi a immagini provenienti da altre fonti, ad esempio LIDAR - *Light detection and ranging* - e/o sensori radar) per operazioni ferroviarie critiche. Ciò include il controllo dei movimenti della videocamera e dello zoom.

9) *Critical Advisory Messaging services- safety related*: l'utente deve essere in grado di inviare e/o ricevere messaggi critici, relativi alla sicurezza, come messaggi di testo (predefiniti o qualsiasi) o messaggi vocali preregistrati per istruire il personale ferroviario sull'uso dell'infrastruttura (ad esempio limitazioni di velocità, annullamento di un punto di arresto). I messaggi possono essere scambiati a livello utente-utente o multiutente.

10) *Automatic train protection communication (ATC)*: disponibilità di un *bearer* di comunicazione affidabile per

application is intended to allow trackside workers to take remote control of infrastructure elements in order to perform safe engineering works on those elements. The application provides the communication bearer in a safe and secure way.

3) *Trackside maintenance warning system communication*: *The trackside maintenance warning system shall be able to initiate data communication to trackside maintenance workers in the appropriate area.*

4) *Remote control of engines communication*: *It shall be possible to set up data communication between an engine and a ground based system in order to control the engine. The remote driver can operate the engine via the ground system. This application enables and allows remote controlled movement of trains typically for shunting operation in depots, shunting yards and/or for banking.*

5) *Monitoring and control of critical infrastructure*: *It shall be possible to set up data communication between infrastructure systems and a ground based or train based system in order to monitor or control critical infrastructure such as train detection, signals and indicators, movable infrastructure, level crossing elements, including barrier controls vehicle sensors, lighting controls and alarms.*

6) *Railway emergency communication*: *An authorized user shall be able to set up a railway emergency communication to other users within an automatically configured area or group, which is based upon the originator's location or characteristics and those users likely to be affected by the emergency.*

7) *Train integrity monitoring data communication*: *The train integrity monitoring system shall have a reliable communication bearer in order to ensure safety related data be transferred between the components monitoring train integrity.*

8) *Critical Real time video*: *This application facilitates the data communication for real time transmission of video images ("video images" may also refer to images coming from other sources, e.g. LIDAR - Light detection and ranging - and/or radar sensors) for critical railway operation. This includes the control of camera movements and zoom.*

9) *Critical Advisory Messaging services- safety related*: *User shall be able to send and/or receive critical messages, safety related, like (predefined or any) text or pre-recorded voice messages to instruct railway staff about the usage of the infrastructure (for example speed restrictions, overriding of a stopping point). Messages can be exchanged on user-to-user or on multi-user level.*

10) *Automatic train protection communication*: *The provision of a reliable communication bearer to support the implementation of radio based ATC systems. The ATC system shall have a reliable communication bearer in order to ensure efficient data transfer between the on-*

supportare la realizzazione di sistemi ATC basati su radio. Il sistema ATC deve disporre di un *bearer* di comunicazione affidabile al fine di garantire un trasferimento efficiente dei dati tra il sistema di bordo e il sistema di terra. (ad esempio ETCS L2/L3, CBTC, CTCS) o tra un treno e altri treni o tra un treno e altri elementi a terra. Questa applicazione fornisce il *bearer* di comunicazione per questi dati.

11) *Shunting voice communication*: un utente in manovra deve essere in grado di stabilire una comunicazione vocale ininterrotta con altri utenti in manovra e/o con controllori autorizzati. La comunicazione vocale potrebbe essere una comunicazione da utente a utente o multiutente. Il controllore autorizzato e gli altri utenti di manovra vengono indirizzati automaticamente dal sistema (ad esempio, in base alla posizione, alla situazione operativa, ecc.).

12) *Virtual Coupling data communication*: il sistema *Virtual Coupling* deve avere un *bearer* di comunicazione affidabile per garantire che i dati relativi alla sicurezza siano trasferiti tra i componenti che fanno parte del sistema di *Virtual Coupling*. Il sistema FRMCS fornisce il *bearer* di comunicazione per questo scambio di dati.

13) *Ground to ground voice communication*: un utente di terra deve essere in grado di instaurare la comunicazione vocale con un altro utente di terra. L'utente autorizzato deve essere in grado di avviare una comunicazione vocale con un altro utente autorizzato.

14) *Multi-train voice communication for drivers including ground user(s)*: il conducente deve essere in grado di stabilire una comunicazione vocale con gli utenti a terra autorizzati e/o altri conducenti. Un utente di terra deve essere in grado di stabilire una comunicazione vocale con i conducenti e altri utenti di terra autorizzati. La selezione potrebbe essere basata sulla posizione del treno, sulla configurazione del binario, ecc. utilizzando un'identità funzionale. La comunicazione vocale può essere bidirezionale o unidirezionale.

15) *Trackside maintenance voice communication*: un operatore o controllore a terra deve essere in grado di instaurare una comunicazione vocale con altri utenti autorizzati. La comunicazione vocale può essere bidirezionale o unidirezionale.

16) *On-train outgoing voice communication from the driver towards the controller(s) of the train*: il conducente deve essere in grado di avviare una comunicazione vocale con qualsiasi controllore che era, è, o sarà responsabile del movimento del treno.

17) *Public emergency call*: un utente può effettuare una chiamata di emergenza pubblica.

18) *Public train emergency communication*: questa applicazione consente a qualsiasi utente autorizzato coinvolto nella circolazione dei treni di avvisare, tramite una comunicazione vocale e/o dati, i conducenti dei treni interessati da un incidente relativo alla sicurezza in prossimità dell'infrastruttura ferroviaria; ad esempio, a un binario di stazione o a un passaggio a livello: una persona cade da un binario o scivola tra il treno e il binario oppo-

board system and the ground system. (for example ETCS L2/L3, CBTC, CTCS), or between a train and other trains or between a train and other trackside elements. This application provides the communication bearer for this data.

11) *Shunting voice communication*: A shunting user shall be able to set up an uninterrupted voice communication with other shunting users and/or with entitled controller(s). The voice communication could be a user-to-user or multi-user communication. The entitled controller and other shunting users are addressed by the system automatically (for example, based on location, operational situation etc.).

12) *Virtual Coupling data communication*: The Virtual Coupling system shall have a reliable communication bearer in order to ensure that the safety related data is transferred between the components making part of the Virtual Coupling system. The FRMCS system provides the communication bearer for this data exchange.

13) *Ground to ground voice communication*: A ground user shall be able to set up voice communication to another ground user. The authorized user shall be able to initiate a voice communication to another entitled user.

14) *Multi-train voice communication for drivers including ground user(s)*: The driver shall be able to set up a voice communication with entitled ground user(s) and/or other drivers. A ground user shall be able to set up a voice communication with drivers and other entitled ground user(s). The selection could be based on the location of the train, on the track configuration, etc. using a functional identity. The voice communication can be bi-directional or unidirectional.

15) *Trackside maintenance voice communication*: A trackside worker or controller shall be able to set up a voice communication with other authorized users. The voice communication can be bi-directional or unidirectional.

16) *On-train outgoing voice communication from the driver towards the controller(s) of the train*: The driver shall be able to initiate a voice communication to any controller that was, is, or will be responsible for the movement of the train.

17) *Public emergency call*: A user is able to make a public emergency call.

18) *Public train emergency communication*: This application allows any entitled user involved in train operations to alert, via a voice and/or data communication, the drivers of the concerned trains of a safety related incident in the vicinity of railway infrastructure; for example, at a platform environment or a level crossing: a person falling from a platform or slipping between train and platform or a car being stuck on a level crossing. An entitled user in this case could be a member of the public.

Tabella 1 – Table 1

 Mappatura delle caratteristiche dei servizi ferroviari 5G
 5G railway services characteristics mapping

<i>Resource Type</i>	<i>Priority</i>	<i>Packet Delay Budget (ms)</i>	<i>Packet Error Loss Rate</i>	<i>Default Maximum Data Burst Volume</i>	<i>Default Averaging Window (ms)</i>	<i>Service</i>
<i>Delay critical GBR</i>	24	30	10^{-5}	1354	2000	1) Automatic train operation communication
<i>NO GBR</i>	55	200	10^{-6}	N/A	N/A	2) Data communication for Possession management
<i>NO GBR</i>	55	200	10^{-6}	N/A	N/A	3) Trackside maintenance warning system communication
<i>NO GBR</i>	24	30	10^{-5}	1354	N/A	4) Remote control of engines communication
<i>NO GBR</i>	70	100	10^{-3}	N/A	N/A	5) Monitoring and control of critical infrastructure
<i>GBR</i>	7	75	10^{-2}	N/A	2000	6) Railway Emergency Communication
<i>Delay critical GBR</i>	24	30	10^{-5}	1354	2000	7) Train integrity monitoring data communication
<i>GBR</i>	15	100	10^{-3}	N/A	2000	8) Critical Real time video
<i>NO GBR</i>	5	60	10^{-6}	N/A	N/A	9) Critical Advisory Messaging services- safety related
<i>Delay Critical GBR</i>	24	30	10^{-5}	1354	2000	10) Automatic train protection Communication
<i>GBR</i>	20	100	10^{-2}	N/A	2000	11) Shunting voice communication
<i>NO GBR</i>	24	30	10^{-5}	1354	N/A	12) Virtual Coupling data communication
<i>GBR</i>	20	100	10^{-2}	N/A	2000	13) Ground to ground voice communication
<i>GBR</i>	20	100	10^{-2}	N/A	2000	14) Multi-train voice communication for drivers including ground user

(segue... - follows...)

(segue tab. 1 - follows tab. 1)

GBR	20	100	10^{-2}	N/A	2000	15) Trackside maintenance voice communication
GBR	20	100	10^{-2}	N/A	2000	16) On-train outgoing voice communication from the driver towards the controller(s) of the train
GBR	20	75	10^{-3}	N/A	2000	17) Public emergency call
GBR	7	75	10^{-2}	N/A	2000	18) Public train emergency communication
GBR	12	100	10^{-2}	N/A	2000	19) Voice Recording and access to the recorded data
Delay Critical GBR	5	30	10^{-5}	N/A	2000	20) Signaling safety critical communications

re un'auto è bloccata su un passaggio a livello. Un utente autorizzato in questo caso potrebbe essere un membro del pubblico.

19) *Voice Recording and access to the recorded data*: deve essere possibile consentire la registrazione del, e l'accesso al, contenuto della comunicazione e ai dati relativi alla comunicazione al fine di supportare l'analisi.

20) *Signaling safety critical communications* (servizio critico proposto dagli autori): comando e controllo di dispositivi in campo come passaggi a livello, scambi, circuito di binario in sostituzione del cavo o loro ridondanza.

Nella Tab.1 i servizi ferroviari critici (sopra citati) sono classificati a partire dalla tabella del modello 5g QoS [12]. Il documento [12] è utilizzato per i servizi pubblici e non per i servizi ferroviari. Ovviamente i servizi ferroviari sono caratterizzati da condizioni critiche. In base alle diverse esigenze delle ferrovie e dei servizi offerti, per determinare i valori di QoS si è partiti dai valori di 5G [12] e si è andati a caratterizzare ciascuna scelta per lo specifico servizio [11]. Ciò ha richiesto un lungo studio e un esame specifico per ogni servizio. In particolare, in base alle caratteristiche dello specifico servizio ferroviario, è stata analizzata la necessità di risorsa tipo GBR, No GBR o ritardo GBR critico. La risorsa di tipo GBR viene usata per i servizi in tempo reale.

5. Conclusioni

Questo articolo evidenzia il ruolo cruciale che in futuro la tecnologia 5G potrebbe svolgere nel mondo ferroviario. Il 5G permette l'ingresso di nuovi servizi per le ferrovie, garantendo un adeguato profilo di QoS. L'utilizzo del 5G Railway consentirà la realizzazione di IoT, realtà aumentata, *slicing* e molti altri servizi che facilitano l'evol-

19) *Voice Recording and access to the recorded data*: It shall be possible to enable the recording of, and access to, communication content and the communication related data in order to support analysis.

20) *Signaling safety critical communications* (this critical service has been added by authors): command and control of field device as level crossing, switches, track circuit replacing cable or in their redundancy.

In Tab. 1 the critical railway services (mentioned above) are classified starting from the table of the 5g QoS model [12]. The document [12] is used for public services, not for railway purposes. Obviously, railway services are characterized by critical issues. According to the different needs of the railways and the services offered, to determine the QoS values the authors started from the values of 5G [12] and they went to characterize each choice for the specific service [11]. This required a long study and a specific examination for each service. In particular, based on the characteristics of the specific railway service, the need for a resource type GBR, No GBR or critical GBR delay was analyzed. The resource of type GBR was used for real-time services.

5. Conclusions

This article highlighted the crucial role that 5G technology could play in the future in the railway world. 5G allows for new specific services for railways, ensuring an adequate QoS profile for each of them. The application of 5G Railway will enable the realization of IoT, augmented reality, network slicing and a lot of services that facilitate higher standards of train protection as well as providing the fu-

zione di elevati standard di protezione dei treni, oltre ad essere il futuro sistema di comunicazione ferroviaria per ERTMS come successore del vecchio GSM-R. L'utilizzo dei cavi è sostituito da sensori wireless e lo stesso vale per tutti i servizi già offerti dalle ferrovie. Sarà possibile l'integrazione di tutti i servizi nella rete a costi contenuti e con maggiore efficienza ed efficacia. In questo studio, proponiamo il modello 5G QoS per garantire un'adeguata QoS nella rete ferroviaria. Abbiamo proposto una possibile parametrizzazione della QoS per soddisfare le esigenze della futura rete ferroviaria 5G. Il sistema proposto potrebbe essere la chiave di volta per il futuro delle ferrovie e per tutti gli aspetti delle future prestazioni di sistema. Questi sono gli aspetti innovativi su cui sia gli autori che RFI stanno adesso lavorando.

ture railway communication system for ERTMS as successor to the legacy GSM-R. The use of cables is replaced by wireless sensors and the same goes for all the services that the railways already offer. All services can be integrated throughout the network but at lower costs and with greater efficiency and effectiveness. In this study the authors propose the 5G QoS model to guarantee an appropriate QoS in the Railway network. In this work a possible QoS parametrization has been proposed to meet the needs of the railways in the future 5G railway network. The proposed system could be an application or implementation of the future 5G- Railway for all aspects of the future system performances. RFI and the authors are currently working on these aspects.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] EIRENE (2015), "System Requirements Specification" version 16.00, 12.21.
- [2] EIRENE (2015), "Functional Requirements Specification" version 8.0.0, 12.21.
- [3] Y. ZHOU, B. AI (2014), "Quality of Service Improvement for High-Speed Railway Communications"- State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, No.3 Shang Yuan Cun Haidian District, Beijing, 100044, P. R. China.
- [4] B. AI, R. HE, Z. ZHONG, K. GUAN, B. CHEN, P. LIU, Y. LI (2012) "Radio wave propagation scene partitioning for high-speed rails", International Journal Antennas Propagation, January.
- [5] Evaluation of ETCS performance with LTE as alternative railway communication network using OPNET (2013), DTU.
- [6] L. TIAN, J. LI, Y. HUANG, J. SHI, J. ZHOU (2012), "Seamless dual-link handover scheme in broadband wireless communication systems for high-speed rail", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, May.
- [7] B. AI, X. CHENG, T. KURNER, Z. ZHONG, K. GUAN, R. HE, L. XIONG, D. MATOLAK, D. MICHELSON, C. BRISO RODRIGUEZ (2014), "Challenges toward wireless communications for high-speed railway", October, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- [8] 3GPP RAN1 TS36.814 (2011), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects", Release October.
- [9] I. ARSUAGA, N. TOLEDO, I. LOPEZ, M. AGUADO (2019), "A Framework for Vulnerability Detection in European Train Control Railway Communications", Hindawi Security and Communication Networks.
- [10] H2020 730840 (2019), "Report on Technical and Quality of Service Viability", vers.1.2, December, Shift2Rail.
- [11] FU-7100 "Future Railway Mobile Communication System User Requirements Specification", vers. 5.0.0 UIC.
- [12] ETSI TS 123 501 V15.8.0 (2020) "5G System architecture for the 5G System (5GS) (3GPP TS 23.501 version 15.8.0 Release 15)" vers.15.8.0, January.
- [13] "From GSM-R to Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)" (2018), September, CIFI.
- [14] DI TCAR SF AR 12 001 A (1999), "Sistemi di diagnostica temperatura rotabile" vers.A. December, RFI.
- [15] "Il binario ferroviario e le moderne tecniche manutentive" - workshop- www.clf -catania.it, CIFI.
- [16] UNI 9614 (2017), "Vibration measurement in buildings and annoyance evaluation", September.
- [17] Science direct (2009), "Rail Vibration".
- [18] UNI 9916 (2014), "Criteria for the measurement of vibrations and the assessment of the effects on buidings", December.
- [19] UNI 2631-1 (2018), "Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration", February.

- [20] F.Z. YOUSAF, M. BREDEL, S. SCHALLER, S., F. SCHNEIDER (2018), *"NFV and SDN–Key Technology Enablers for 5G Networks"*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications.
- [21] G. FAZIO, G. SACERDOTI, M. CERULLO, M. FABBRI, F. MUZI (2005), *"Acoustic Signal Processing to Diagnose Transiting Electric Trains"*, IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, June, ISSN: 1524-9050.
- [22] G. FAZIO, G. SACERDOTI, G. BRILLI, R. LOIACONO, M. MARINELLI, S. MENEGHELLO, S. RICCI (2005), *"Diagnostic process of the pantograph current-collector through an acoustic method"*, WSEAS Transactions on Information Science and Applications, 2(9), 1387-1392.
- [23] G. FAZIO, G. SACERDOTI, M. CERULLO, D. SACERDOTI (2003), *"Diagnosi delle condizioni di circolazione dei rotabili"*, La Tecnica Professionale, July-August.
- [24] W. MARRY, (2013), *"Disruptive civil technologies six technologies with potential impacts on us interests out to 2025"*, Conference Report, NIC, May.
- [25] V. KRANENBURG, (2013), *"Moscow future design lab co-create urban intelligence: designing smart interfaces between people and city"*, Concil EcoSystem.
- [26] A. LUGARÀ, D. BRUCIAFREDDO (2019), *"The predictive maintenance of railway bridges through an Internet of Things framework. An implementation proposal"*, Ingegneria Ferroviaria, October.
- [27] A. LUGARÀ, (2018). *"Railway-predictive-maintenance-and-enabling-role-‘internet-things’"*, Ingegneria Ferroviaria, May.
- [28] D. ROTHBAUND, *"Network sharing and slicing for railway"*, Ericsson, 06.07.2018.
