



Progetto e verifiche di laboratorio dell'ABJ, un giunto isolante incollato innovativo

Design and laboratory tests of ABJ, an innovative insulated rail joint

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.04.2025.ART.2>)

Gianluca MEGNA^(*)
Andrea BRACCIALI^(**)

Sommario I giunti isolanti incollati, necessari per realizzare i circuiti di binario ove venga utilizzato il blocco elettrico automatico quale sistema di distanziamento, sono componenti meccanici del binario soggetti ad urti ed a conseguenti danneggiamenti che ne possono limitare drasticamente la vita utile. Il martellamento delle ruote in transito può generare e far progredire cricche dai fori di montaggio dei chiodi fino alla rottura della testa della rotaia e in casi estremi portare ad incidenti molto gravi. Nel presente articolo viene introdotto un nuovo tipo di giunto isolante incollato, denominato ABJ – *Absolutely Better Joint*, che elimina gli urti al passaggio delle ruote, prevenendo la formazione di cricche e quindi garantendo un elevato livello di sicurezza. Inoltre, la particolare disposizione degli elementi isolanti rende il giunto *fail-safe* garantendo assoluta sicurezza in esercizio. Vengono mostrate le caratteristiche costruttive dell'ABJ, coperto da brevetto, e gli esiti delle prove di laboratorio che hanno validato il *design* innovativo.

1. Introduzione

Il livello di automazione della marcia e della condotta dei veicoli ferroviari può essere descritto tramite cinque livelli (*Grade Of Automation*, GOA in breve) [1] che passano dalla marcia a vista (GOA0) alla marcia completamente automatica, cioè senza conducente e non presenziata (GOA4). La descrizione di tali livelli è mostrata in Tab. 1. I sistemi ATO (*Automatic Train Operation*) di molte metropolitane anche italiane (Metro Brescia, Roma Metro C, Milano Linea 4 e 5) utilizzano il livello più alto di automazione, mentre la metropolitana di Napoli, pur progettata negli anni '80 per l'esercizio in ATO, viene utilizzata in modalità degradata (ATP continuo – *Automatic Train Protection* continuo) per mancanza delle porte di banchina che impongono la presenza del macchinista per supervisionare l'incarozzamento dei passeggeri.

La marcia a vista, in cui il conducente non è coadiuvato da alcun sistema di protezione, è invece applicata solamente ai sistemi tranviari, mentre tutti gli altri sistemi ferroviari adottano almeno un livello GOA1, in cui è

Summary Insulated rail joints, required to implement track circuits where automatic block signalling is used as a train protection system, are mechanical components of the track subject to impacts and damages that can drastically limit their useful life. Transit wheels battering may nucleate and propagate cracks from the fishbolt holes until the railhead breaks leading in extreme cases to very serious accidents. In this article, a new type of insulated rail joint is introduced. Called ABJ – *Absolutely Better Joint* - it eliminates impacts when the wheels pass, preventing the formation of cracks therefore ensuring a high level of safety. Furthermore, the peculiar arrangement of the insulating elements makes the joint fail-safe, ensuring intrinsic safety in operation. The construction features of the ABJ, patented, and the results of the laboratory tests that validated the innovative design are shown.

1. Introduction

The level of automation of the operation and driving railway vehicles can be described by five levels (*Grade Of Automation*, GOA for short) [1] which goes from visual driving (GOA0) to fully automatic driving, i.e. driverless and unattended (GOA4). The description of these levels is shown in Tab. 1. The ATO (*Automatic Train Operation*) systems of many Italian metros (Brescia Metro, Rome Metro C, Milan Lines 4 and 5) use the highest level of automation, while the Naples metro, although designed in the 1980s for ATO operation, is used in degraded mode (continuous ATP – continuous *Automatic Train Protection*) due to the lack of platform doors which require the presence of the driver to supervise passengers boarding.

Run at sight driving, in which the driver is not assisted by any protection system, is applied only to tram systems, while all other railway systems adopt at least a GOA1 level, in which an ATP system able to automatically apply emergency braking in the event of exceeding the maximum speed (continuous ATP) or absolute signal displaying red (discontinuous ATP) is used.

This solution is still the most used on conventional lines

^(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa.

^(**) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Firenze - AB Consulting s.a.s., Firenze.

^(*) Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa.

^(**) Department of Industrial Engineering, University of Florence - AB Consulting sas, Florence.

Tabella 1 – Table 1

Livelli di automazione della marcia dei veicoli ferroviari. Modificato da [1]. D= Conduttore/Driver; AU= Automatico/Automatic; A= Supervisore/Attendant
 Levels of automation of railway vehicle operation. Modified from [1]. D=Driver; AU=Automatic; A=Attendant

Livello di Automazione Grade of Automation	Esercizio del treno Train operation	Partenza del treno Train start	Marcia del treno e fermata Drive and train stop	Controllo porte Door control	Esercizio per incidente Operation in case of disruption
0	Marcia a vista (Conduttore) Run at sight (driver)	D	D	D	D
1	Non automatico (ATP con macchinista) Non-automatic (ATP with driver)	D	D	D	D
2	Semi automatico (ATP e ATO con macchinista) Semi-automatic (ATP and ATO with driver)	D/AU	AU	D	D
3	Automatico (ATP e ATO senza macchinista) Driverless (ATP and ATO without driver)	AU	AU	D/A	A
4	Senza supervisione (ATP e ATO senza macchinista e supervisore) Unattended (ATP and ATO without driver and attendant)	AU	AU	AU	AU

utilizzato un sistema ATP in grado di applicare in modo automatico la frenatura di emergenza in caso di superamento della massima velocità di marcia (ATP continuo), o dei segnali disposti a via impedita (ATP discontinuo).

Questa soluzione è ancora la più utilizzata su gran parte delle linee convenzionali e delle metropolitane non automatiche, e il componente fondamentale per la realizzazione del distanziamento automatico dei veicoli rimane il Giunto Isolante Incollato (GII), in quanto permette la suddivisione della linea in sezioni di blocco, ognuna della quali non può essere occupata contemporaneamente da più treni. Il GII deve quindi isolare elettricamente due spezzoni di rotaia e allo stesso tempo deve resistere alle sollecitazioni meccaniche (provocate dal passaggio dei veicoli e dalla termica che binario) mantenendo così l'integrità strutturale della Lunga Rotaia Saldata (LRS).

Nella configurazione attuale del GII la perfetta continuità della rotaia non è comunque garantita e i GII sono soggetti agli inevitabili urti derivanti dall'accostamento di due rotaie, le cui testate sono separate da una sagoma in nylon di spessore pari a 5 mm. A causa del danneggiamento progressivo delle testate delle rotaie (*head battering*), le sollecitazioni dovute agli urti peggiorano nel tempo [2]. Inoltre, il ballast sotto le traverse può perdere gradualmente la sua funzionalità a causa dalle azioni dinamiche e delle difficoltà di effettuare le operazioni di rincalzatura in prossimità dei GII.

L'utilizzo di GII con ganasce più rigide, l'aumento del numero di chiodi di bloccaggio (esistono GII con 8 chiodi, Fig. 1 sinistra) e l'utilizzo di una traversa di appoggio sotto il giunto (Fig. 1 destra) possono solo parzialmente mitigare il degrado dei GII.

La letteratura tecnica è ricca di studi e ricerche che analizzano il degrado [4] e la rottura, a volte repentina, dei GII a causa della loro architettura, ma nessuno di essi individua una soluzione definitiva per il problema. La rottura di un GII, per cause non qui di interesse, può avere conseguenze catastrofiche, e le azioni mitigative attual-

and non-automatic metros, and the fundamental component for the implementation of automatic vehicle distancing remains the Insulated Rail Joint (IRJ), as it allows to split the line into block sections that cannot be occupied by more than one train at the same time. IRJs must therefore electrically insulate two rails and at the same time withstand mechanical stress (caused by the passage of vehicles and by the thermal load on the track) thus maintaining the structural integrity of the Continuous Welded Rail (CWR).

In the current IRJs configuration, however, perfect continuity of the rail is not possible, and they are subject to the inevitable impacts resulting from the positioning of the two rails separated by a 5 mm thick nylon end-post. Due to the progressive damage to the railhead (*battering*), the stresses due to impacts worsen over time [2]. Furthermore, the ballast under the sleepers can gradually lose its functionality due to dynamic actions and the difficulties of carrying out tamping operations in proximity to the IRJs.

The use of IRJs with stiffer fishplates, the increased number of fishbolts (some IRJs use 8 fishbolts, Fig. 1 left) and the use of a supporting sleeper under the joint (Fig. 1 right) can only partially mitigate the degradation of GIIs.

There is plenty of studies and research in the technical literature that analyse the degradation [4] and the failure, sometimes sudden, of IRJs due to their architecture, but none of them identify a final solution to the problem. The failure of an IRJ, for reasons not of interest here, may have catastrophic consequences, and the mitigating actions currently adopted, even particularly advanced such as fibre optic sensors for debonding monitoring [5], confirm the need for measures to try to improve the performance of IRJs in operation.

Using ordinary rails that have a relatively thin web (16.5 mm for 60E1 rails), solutions that provide cutting angles other than 90° with the aim of generating a softer transition between the rails do not allow for the creation of angles smaller than 30° as this would result in surfaces that are not compatible with the mechanical strength of the rails.



Figura 1 - GII con otto chiodi di bloccaggio (sinistra) [3]; GII supportato da una traversa speciale (destra).
 Figure 1 - GII with eight locking fishbolts (left)[3]; GII supported by a special sleeper (right).

mente adottate, anche particolarmente complesse come sensori in fibra ottica per il monitoraggio dello scollamento [5], confermano la necessità di interventi per cercare di migliorare le prestazioni dei GII in esercizio.

Utilizzando rotaie ordinarie che hanno un gambo relativamente sottile (16.5 mm per le rotaie 60E1), le soluzioni costruttive che prevedono angoli di taglio diversi da 90° con l'obiettivo di generare una transizione più morbida tra le rotaie non permettono comunque di realizzare angoli inferiori a 30° in quanto si otterrebbero superfici non compatibili con la resistenza meccanica delle rotaie stesse.

Il giunto IVB30 [6] (Fig. 2 sinistra) è un esempio di questo tipo di giunti a taglio inclinato ed è descritto anche nei manuali di manutenzione del gestore tedesco dell'infrastruttura ferroviaria (DB, [7]) mentre soluzioni con angoli di taglio multi acuti sono realizzabili piegando preventivamente le rotaie, come avviene nella produzione dei giunti di dilatazione, oppure utilizzando rotaie laminate con profili con anima spessa (Fig. 2 destra). Profili di questo tipo sono descritti nella norma EN13674-2 [8] e sono destinati alla produzione della componentistica degli scambi, come ad esempio le barre per ago, le quali vengono fresate per ottenere il profilo dell'ago che si deve accoppiare con il contrago.

The IVB30 joint [6] (Fig. 2 left) is an example of this type of inclined cut joint described in the maintenance manuals of the German railway infrastructure manager (DB, [7]) while solutions with very sharp cutting angles may be obtained by bending the rails, as done in the manufacturing of expansion joints, or by using rolled rails with thick web profiles (Fig. 2 right). Profiles of this type are described in the EN13674-2 standard [8]. They are intended for the production of turnout components, such as switch rails, which are milled to obtain the profile of the switch blade to be coupled with the stock rail.

This paper describes the development of a new type of an innovative insulated rail joint, including the results of laboratory tests carried out to verify the mechanical and electrical performance in accordance with various national and international standards.

2. ABJ Joint Description

2.1. ABJ Joint Design Philosophy

Since the switch blade slides on chairs during switch operation, switch rails are shallower than conventional rails, with a considerable profile asymmetry and a very thick web. The transition between the switch rail the reference rail section is achieved by forging [9].

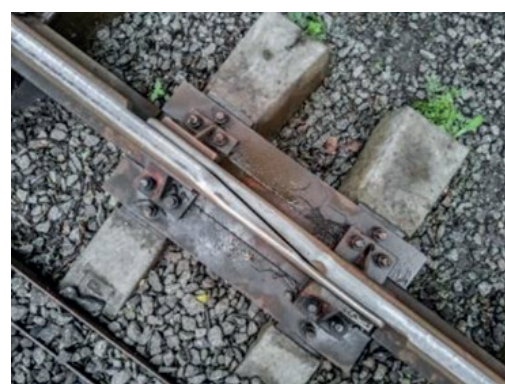
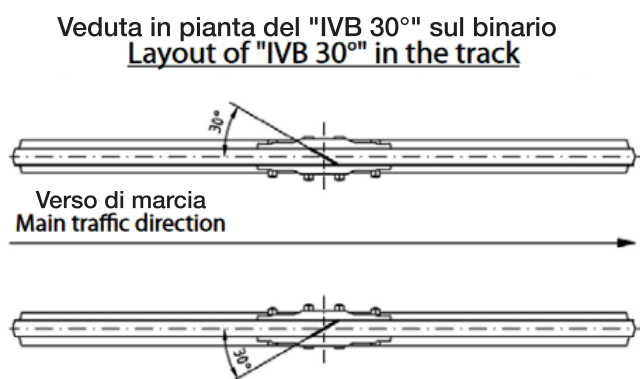


Figura 2 - GII con taglio a 30° (sinistra) [7]; giunto di dilatazione ottenuto da rotaie piegate (destra).
 Figure 2 - IRJ with 30° cut (left) [7]; expansion joint obtained from bent rails (right).

Il presente articolo descrive lo sviluppo fino ad oggi di un nuovo tipo di giunto isolante incollato del tutto innovativo, compresi gli esiti dei test di laboratorio effettuati per la verifica delle prestazioni meccaniche ed elettriche in accordo a diverse normative nazionali ed internazionali.

2. Descrizione del giunto ABJ

2.1. Filosofia della progettazione del giunto ABJ

Dato che l'ago deve traslare su dei cuscinetti durante la manovra dei deviatori, le barre per ago sono caratterizzate da un'altezza inferiore rispetto alla rotaia di riferimento, da una notevole asimmetria del profilo e da un'anima di notevole spessore. La transizione tra la sezione della barra e quella di riferimento viene realizzata tramite forgiatura [9].

Le barre per ago presentano quindi un insieme di caratteristiche tali da rendere possibile lo sviluppo del GII di nuova concezione introdotto nel presente lavoro, le cui principali caratteristiche sono:

- un taglio molto acuto delle barre per ago che permette una transizione graduale tra i due spezzoni di rotaia collegati;
- l'eliminazione delle due ganasce laterali, sostituite da una piastra di spessore elevato posta sotto il piede delle barre per ago che supporta il giunto per l'intera lunghezza della transizione, possibile grazie alla ridotta altezza ed alla asimmetria delle barre per ago.

La combinazione di queste due caratteristiche ha permesso la realizzazione di un GII innovativo, denominato *Absolutely Better Joint* (ABJ), la cui architettura è tale da non generare urti e le conseguenti problematiche dei GII convenzionali.

Oltre all'estrema dolcezza del trasferimento del carico da una rotaia all'altra, il giunto ABJ ha la caratteristica di dover essere montato sopra una traversa (il che porta ad una notevole riduzione dei carichi sopportati dal giunto stesso) e di non richiedere traverse speciali di alcun tipo. Nelle soluzioni con cavi opportunamente "messi in ombra" (utilizzando i chiodi come conduttori elettrici verso le casse induttive) tutta la zona del giunto ABJ è libera da cavi ed è facilmente riscalzabile in quanto non si discosta da un normale tratto di linea (Fig. 3).

Una caratteristica innovativa e fondamentale del giunto ABJ è il raggiungimento, attraverso una opportu-

Switch bars therefore present a set of characteristics that make it possible to develop the new IRJ concept introduced in this work, whose main characteristics are:

- *a very shallow cut of the switch bar that allows for a smooth transition between the two connected rails;*
- *the elimination of the two fishplates, replaced by a thick plate fastened under the switch bar foot which supports the joint for the entire length of the transition, possible thanks to the lower height and asymmetry of the switch bars.*

The combination of these two features allowed the creation of an innovative IRJ, called Absolutely Better Joint (ABJ), whose architecture does not generate impacts and the consequent problems of conventional IRJs.

In addition to the extremely smooth transfer of the load from one rail to the other, the ABJ joint has the characteristic of being mounted over a sleeper (which leads to a notable reduction in the loads supported by the joint itself) and of not requiring special sleepers of any kind. In solutions with cables appropriately "shadowed" (using fishbolts as electrical conductors towards the signalling equipment) the entire

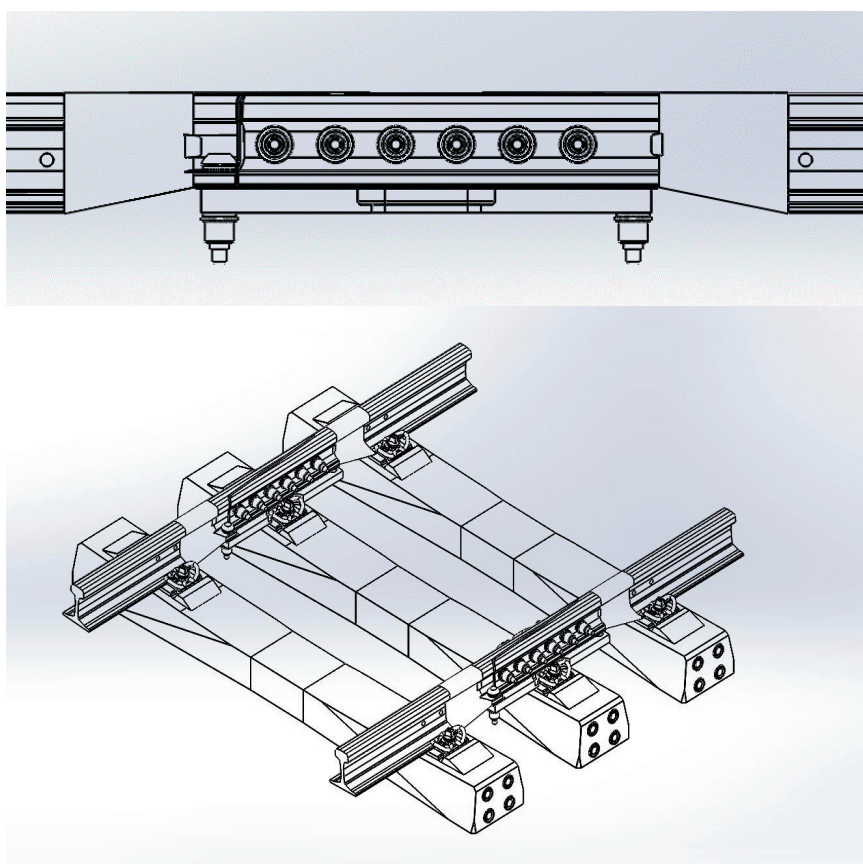


Figura 3 - Vista laterale del giunto ABJ completo (in alto) e montaggio di due ABJ "base" (senza collegamenti elettrici) su un normale binario con rotaie ed attacchi standard senza modifica del passo delle traverse (in basso).

Figure 3 - Side view of the complete ABJ joint (top) and assembly of two "base" ABJs (without electrical connections) on a track with standard rails and attachments without modifying the sleeper spacing (bottom).

na disposizione degli elementi isolanti in vetroresina, di una condizione di *fail-safe* che è stata evidenziata attraverso un'analisi FMEA combinata ad una opportuna analisi dei rischi [10]. La rottura del giunto avviene normalmente tramite il distacco di una delle due testate (tipicamente la parte a valle) lasciando l'altra parte praticamente intonsa (Fig. 4).

Lo studio delle condizioni che portano alla "distruzione" in linea di un GII ha permesso di individuare la seguente catena di eventi:

1. a causa dell'azione combinata di urti e sollecitazioni di trazione (durante il periodo invernale nel quale la temperatura scende molto al di sotto della temperatura di regolazione del binario con lunga rotaia saldata) il giunto può scollarsi;
2. se questa condizione di guasto non viene intercettata, le testate del giunto si allontanano recuperando il gioco fra i chiodi, i cannotti interni di isolamento (in vetroresina) ed i fori realizzati nelle ganasce e nel gambo delle rotaie;
3. le forze dinamiche al passaggio delle ruote aumentano a causa dell'allontanamento delle testate del giunto;
4. il gambo dei chiodi viene in contatto con i fori nelle rotaie in quanto gli elementi in vetroresina tendono a sgretolarsi avendo ovviamente resistenza meccanica molto inferiore all'acciaio;
5. le forze longitudinali fanno sì che i chiodi deformino i fori sul gambo delle rotaie, ovalizzandoli molto vistosamente;
6. il contatto chiodi/fori genera tensioni molto elevati a 45° che provocano l'innesco di cricche nel gambo delle rotaie (cd. *star crack* - difetto 135 secondo UIC 712 - in quanto somigliano a raggi emessi da una stella);
7. le cricche procedono fino alla rottura del piede (o suola) o (più frequentemente) della testa (o fungo) della rotaia, fino a farne distaccare una porzione.

È interessante osservare che in tutto questo processo le due rotaie restano sempre isolate fra loro dato che le ganasce sono isolate con opportune sagome e questo impedisce che la distruzione meccanica del giunto dia



(Fonte - Source: Internet)

Figura 4 - Alcuni esempi di rottura di giunti isolanti incollati che mostrano come la parte a valle del traffico si distrugga completamente lasciando pressoché indisturbata la parte a monte. In tutte le foto il traffico marciava da destra verso sinistra.

Figure 4 - Some examples of broken IRJs showing how the downstream part of the joint is completely destroyed leaving the upstream part almost undisturbed. In all the photos the traffic was right to left.

area of the ABJ joint is free from cables and can be easily tamped as it does not deviate from a standard track section (Fig. 3).

An innovative and fundamental feature of the ABJ joint is the achievement, through an appropriate arrangement of the fiberglass insulating elements, of a fail-safe condition that was highlighted through an FMEA analysis combined with an appropriate risk analysis [10]. The joint failure normally occurs through the detachment of one of the two

origine ad un cortocircuito che, occupando il circuito di binario, interromperebbe la circolazione. Il giunto ABJ, viceversa, non avendo ganasce, ha i chiodi che collegano direttamente le due rotaie e risultano essere isolati rispetto ad una sola delle due rotaie. In caso di scollamento, dopo uno spostamento assiale di soli 1.3 mm (pari alla somma dello spessore del canotto in vetroresina e del gioco tra foro e canotto stesso), i chiodi cortocircuitano le rotaie impedendo ulteriore circolazione sul binario interessato (Fig. 5).

Il giunto ABJ realizza quindi una condizione unica nel settore dei GII, cioè una condizione di *fail-safe* del tutto automatica ed intrinseca nel progetto del giunto stesso. Non è possibile, cioè, che il giunto si distrugga in quanto prima della nascita delle cricche per contatto fra i chiodi ed i fori nell'anima della rotaia il giunto va in cortocircuito proteggendo il traffico e quindi ricadendo automaticamente in una condizione di assoluta sicurezza.

2.2. Costruzione dei prototipi del giunto ABJ

Dopo il concepimento dell'idea (2021) e la realizzazione del primo giunto prototipo ABJ_001 (presentato alla fiera Innotrans 2022), lo sviluppo del giunto è proseguito realizzando ulteriori prototipi, uno dei quali è stato utilizzato per il lancio ufficiale del prodotto alla fiera Innotrans 2024 (Fig. 6). Il giunto ABJ è un prodotto brevettato (AB Consulting è titolare del brevetto internazionale) ed è attualmente in forze un accordo per la concessione in licenza esclusiva e per il suo sfruttamento commerciale. Ulteriori informazioni sono presenti sul sito www.absolutelybetterjoint.com.

heads (typically the downstream part) leaving the other part practically intact (Fig. 4).

The study of the conditions that lead to the “destruction” of an IRJ in service allowed us to identify the following sequence of events:

1. due to the combined action of impacts and tensile stresses (during the winter period in which the temperature drops well below the neutral temperature of the CWR track) the joint may debond;
2. if this failure condition is not intercepted, the joint heads move apart, recovering the play between the fishbolts, the internal fiberglass insulation sleeves and the holes drilled in the fishplates and in the rail web;
3. the dynamic forces during wheel passing increase due to the increased separation of the joint heads;
4. the fishbolt body touches the holes in the rails as the fiberglass elements tend to obviously crumble having much lower mechanical strength than steel;
5. longitudinal forces cause the fishbolts to deform the fishbolt holes in the rail web, making them very noticeably oval;
6. the contact between fishbolts and fishbolt holes generates very high stresses at 45° which cause the triggering of cracks in the rail web (so-called star crack – defect 135 according to UIC 712 - as they resemble rays emitted by a star);
7. the cracks grow until the rail foot or (more frequently) the rail head of the rail fractures, causing a portion of rail to detach.

It is interesting to note that in this whole process the two rails always remain insulated from each other since the fish-

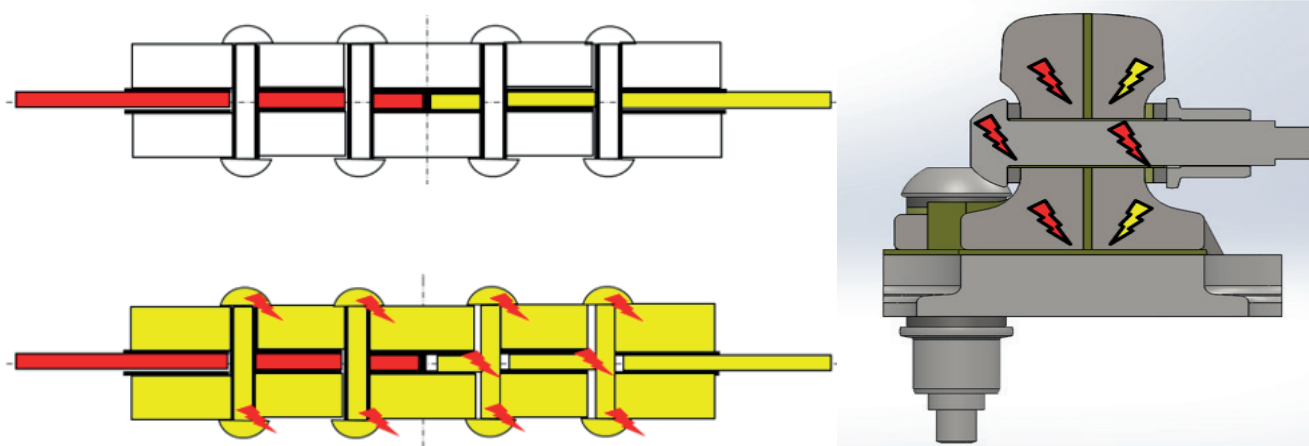


Figura 5 - A sinistra: in alto condizione di funzionamento normale di un GII convenzionale nel quale le ganasce sono isolate dalle due rotaie, in basso la condizione nella quale la porzione sinistra del giunto si sposta ed “energizza” le ganasce ma non riesce a cortocircuitare il giunto. A destra: isolamento del giunto ABJ, nel quale i chiodi sono elettricamente collegati ad una rotaia e mandano in cortocircuito il giunto appena lo spostamento assiale distrugge i tubetti isolanti interni.

Figure 5 - Left, top: Normal operating condition of a conventional IRJ, where fishplates are insulated from both rails. Left, bottom: the left portion of the joint moves and “energizes” the fishplates but fails to short-circuit the joint. Right: ABJ joint insulation, where the fishbolts are electrically connected to only one rail and short-circuit the joint as soon as the axial movement destroys the internal insulating sleeves.



Figura 6 - Il nuovo giunto ABJ in esposizione alla fiera INNOTRANS 2024 di Berlino. Sono ben visibili i collegamenti elettrici che usano come conduttori i chiodi Huck e che permettono di eliminare completamente i cavi poggiati sul ballast e la necessità di traverse cave.

Figure 6 - The new ABJ joint on display at the INNOTRANS 2024 trade fair in Berlin. The electrical connections using Huck fishbolts as electric conductors are clearly visible, completely eliminating cables laying on the ballast and the need for hollow sleepers.

Il giunto ABJ viene assemblato a partire da barre per ago 60E1A1 prodotte secondo [8], forgiate secondo [9] ed approvvigionate da fornitori qualificati. Le barre per ago hanno “forgiatura lunga” almeno 580 mm che ripristina la sezione della rotaia 60E1. La barra per ago ha uno spessore dell’anima pari a 44 mm e viene lavorata per fresatura CNC con un angolo di circa 3° per una lunghezza di circa 600 mm. La barra per ago durante e dopo la lavorazione è mostrata in Fig. 7. Dopo l’accoppiamento delle due barre fresate si ottiene uno spessore dell’anima di ben 56 mm, di molto superiore ai già citati 16.5 mm della rotaia 60E1.

Sei fori cianfrinati di diametro 28 mm (con notevole riduzione dell’indebolimento della sezione rispetto al GII convenzionale che ha fori di 32 mm) vengono realizzati



Figura 7 - Fresatura della barra per ago (sinistra), barra per ago lavorata e sabbata in fase di montaggio (destra). I due fori sull’anima della rotaia 60E1 servono per il collegamento dei cavi della corrente di ritorno verso le connessioni induttive. Tali cavi sono mostrati a scopo illustrativo in Fig. 6.

Figure 7 - Switch bar milling (left), switch bar machined and sandblasted before assembly (right). The two holes on the web of the 60E1 rail are for connecting the return current cables. These cables are shown for illustration purposes in Fig. 6.

plates are insulated with specific fibre-glass layers and this prevents the mechanical destruction of the joint from short circuiting the rails which, occupying the track circuit, would stop traffic. The ABJ joint, on the other hand, not having fish-plates, has fishbolts that directly connect the two rails and that are insulated only from one rail. In the event of debonding, after an axial movement of only 1.3 mm (i.e. the sum of the thickness of the fibre-glass sleeve and the clearance between the fishbolt hole and the sleeve itself), the fishbolts short-circuit the rails preventing further train circulation (Fig. 5).

The ABJ joint therefore creates a unique condition in the IRJ sector, i.e. a completely automatic fail-safe condition that is intrinsic in the design of the joint. It is not possible for the joint to be mechanically destroyed as, before the formation of cracks, the contact between the fishbolts and the fishbolt holes in the rail web short-circuits the joint, inhibiting the traffic and therefore automatically falling back into an intrinsically safe condition.

2.2. Construction of ABJ prototypes

After the conception (2021) and the manufacturing of the first prototype joint ABJ_001 (displayed at the Innotrans 2022 fair), the development of the joint continued by creating further prototypes, one of which was used for the official launch of the product at the Innotrans 2024 fair (Fig. 6). The ABJ joint is patented (AB Consulting is the owner of the international patent) and there is currently an agreement in force for the exclusive licensing and for its commercial exploitation. Further information is available on the website www.absolutelybetterjoint.com.

nelle barre lavorate per l'inserimento di altrettanti chiodi a bloccaggio irreversibile tipo *Huck* da 1" (25.4 mm), isolati con cannotti e rondelle in vetroresina. Le due barre lavorate possono essere così accoppiate con interposta una opportuna sagoma isolante in vetroresina "ad S" (di spessore 4 mm) e senza l'utilizzo delle ganasce laterali, a tutto vantaggio dell'ispezionabilità visiva durante le visite linea.

Le due barre lavorate ed accoppiate sono ulteriormente collegate da una piastra (con funzione di coprigiunto) di spessore 35 mm posta sotto al piede delle barre con l'obiettivo di compensare la differenza di altezza tra la barra per ago (134 mm) e la rotaia (172 mm), al contempo fornendo una eccezionale resistenza nei riguardi della trazione e, soprattutto, della flessione. Il collegamento tra le barre e il coprigiunto (con interposta una sagoma piana in vetroresina di 3 mm) è realizzato utilizzando due ulteriori chiodi *Huck* ad asse verticale posizionati antisimmetricamente, dato che le barre per ago possono essere deformate a caldo con forgiatura destra o con forgiatura sinistra. Il coprigiunto, un chiodo *Huck* e tutti gli elementi di isolamento sono mostrati in Fig. 8.

Tutte le superfici di accoppiamento sono incollate con una resina epossidica bicomponente strutturale ad alta resistenza (la stessa attualmente utilizzata per i GII convenzionali) e infine l'assemblaggio del giunto viene completato tramite il serraggio dei chiodi di bloccaggio tramite una specifica pistola idraulica (Fig. 9). Una volta completato il montaggio il giunto deve stagionare per circa 15 giorni per permettere il completo indurimento del collante (fase di cura).

3. Problematiche e limitazioni del calcolo strutturale

Come già discusso, nei giunti convenzionali i carichi dinamici portano allo scollamento del giunto ed al conse-

The ABJ joint is assembled from 60E1A1 switch bars produced according to [8], forged according to [9] and sourced from qualified suppliers. The switch bars are "long forged" for at least 580 mm restoring the 60E1 rail section. The switch bar has a web thickness of 44 mm and is CNC milled at an angle of approximately 3° to a length of approximately 600 mm. A switch bar during and after machining is shown in Fig. 7. After coupling the two milled bars, a web thickness of 56 mm is obtained, much higher than the aforementioned 16.5 mm of the 60E1 rail.

Six 28 mm diameter chamfered holes (with a significant reduction in the weakening of the section compared to the conventional IRJ which has 32 mm holes) are drilled in the machined bars for the insertion of an equal number of 1" (25.4 mm) Huck type irreversible locking fishbolts, insulated with fiberglass sleeves and washers. The two machined bars can thus be coupled with an appropriate "S" fiberglass insulating shape (4 mm thick) in between and without the use of lateral fishplates, to the benefit of visual inspection during track patrolling.

The two machined and coupled bars are further connected by a 35 mm thick plate (with joint cover function) installed under the switch bars foot with the aim of compensating the height difference between the shallow depth switch bar (134 mm) and the full depth rail (172 mm), at the same time providing exceptional resistance to pull-apart forces and, above all, bending moments. The connection between the bars and the joint cover (with a 3 mm flat fiberglass spacer in between) is made using two additional vertical Huck fishbolts positioned anti-symmetrically, since the switch bars may be right-hand or left-hand forged. The joint cover, a Huck fishbolt and all the insulation elements are shown in Fig. 8.

All mating surfaces are bonded with a high strength structural two-component epoxy resin (the same currently used for conventional IRJs) and then the joint assembly is

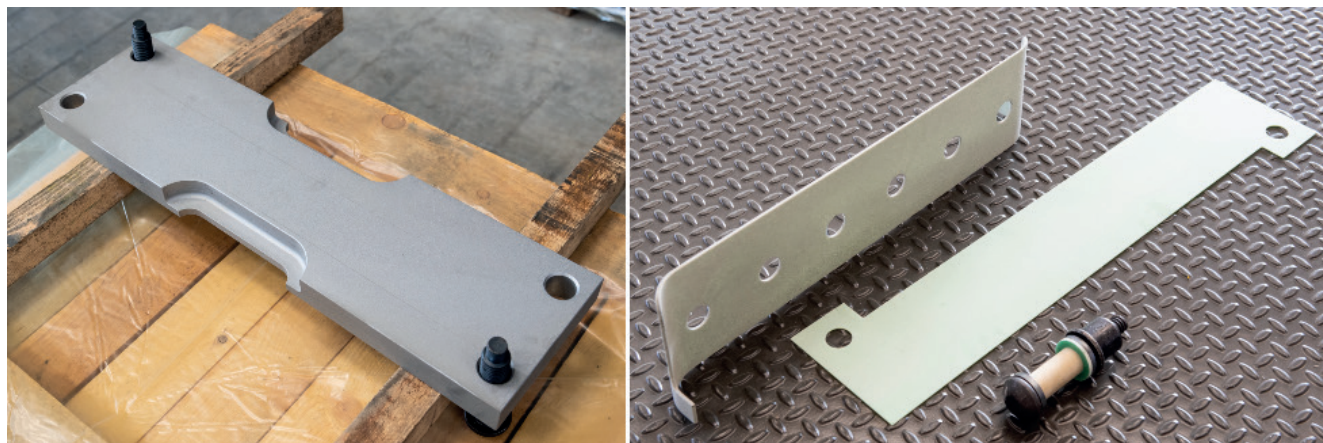


Figura 8 - Piastra coprigiunto universale, per barre con forgiatura destra o sinistra (sinistra); chiodo Huck completo di collare ed elementi in vetroresina (rosette, cannotto, sagoma di base e sagoma "S") per l'isolamento delle due barre lavorate (destra).

Figure 8 - Joint cover plate for bars with either right or left forging (left); Huck fishbolt complete with collar and fiberglass elements (washers, sleeve, base spacer and S-shaped spacer) for the insulation of the two machined bars (right).



Figura 9 - Serraggio dei chiodi Huck con pistola idraulica.
 Figure 9 - Tightening Huck fishbolts with hydraulic tool.

guente allontanamento delle testate nella stagione fredda. In questa circostanza le chiavarde (chiodi *Huck*) vengono a contatto dei fori provocando la formazione e la propagazione di *cricche partenti dai fori* con angolo di 45° (piani di taglio massimo) che possono portare alla completa rottura del giunto.

Tale problematica è stata in parte mitigata da alcuni produttori utilizzando la cosiddetta tecnica del *cold bolt expansion* [11] con la quale viene instaurata una tensione residua di compressione sul foro tramite l'azione di un perno conico che viene tirato attraverso il foro stesso, in modo da rallentare la nucleazione delle *cricche*.

Per eliminare completamente il problema risulta però necessario eliminare i carichi dinamici e il giunto ABJ è stato progettato in questa ottica. Il lungo taglio inclinato permette una progressiva transizione della forza da una rotaia all'altra senza che siano presenti discontinuità, mentre il coprigiunto fornisce una maggiore rigidità a flessione distribuendo in maniera più uniforme i carichi.

Per verificare il comportamento del giunto ABJ in queste condizioni, sono state effettuate simulazioni dinamiche agli elementi finiti con un carico per ruota di 100 kN ad una velocità di 100 km/h [12]. In Fig. 10 si riporta il risultato di una simulazione in cui è possibile osservare come la transizione della forza da una rotaia all'altra avvenga in maniera graduale su una lunghezza di circa 200 mm. Questo garantisce l'assenza di urti al passaggio del veicolo e di conseguenza tutte le problematiche dei GII convenzionali sono evitate alla radice.

Ne risulta che il giunto ABJ ha una probabilità remota di scollarsi; quando questo avvenisse, la condizione di *fail-safe* raggiunta grazie alla particolare disposizione degli elementi isolanti sopra descritti previene qualsiasi rottura di fatto bloccando il traffico ed obbligando alla sostituzione immediata del giunto.

Relativamente alla resistenza strutturale, mentre le sollecitazioni sugli elementi principali (barre per ago, coprigiunto e chiodi di bloccaggio) sotto l'azione dei ca-

completed by locking the fishbolts with a specific hydraulic tool (Fig. 9). Once assembly is complete, the joint must be left to cure for approximately 15 days to allow the glue to harden completely.

3. Structural calculation problems and limitations

As already discussed, dynamic loads acting on conventional joints lead to debonding and the consequent separation of the heads in the cold season. In this circumstance, the bolts (Huck fishbolts) come into contact with the fish-bolt holes, causing cracks to form and propagate from the holes at an angle of 45° (maximum shear planes) which can lead to the complete failure of the joint.

This problem is partially mitigated by some manufacturers using the so-called cold bolt expansion technique [11] with which a residual compressive stress is established on the hole surface through the action of a conical pin that is pulled through the hole itself to slow down the nucleation of cracks.

To completely avoid the problem, however, it is necessary to remove dynamic loads and the ABJ joint was designed with this in mind. The long, inclined cut allows a progressive transition of force from one rail to the other without any discontinuity, while the joint cover provides greater bending stiffness by distributing the loads more uniformly.

To verify the behaviour of the ABJ joint under these conditions, finite element simulations in dynamics domain were performed with a wheel load of 100 kN at a speed of 100 km/h [12]. In Fig. 10 the result of a simulation shows that the handover of the force from one rail to the other occurs gradually over a length of about 200 mm. This guarantees the absence of shocks when the vehicle passes and consequently all the problems of conventional IRJs are prevented at the root.

It follows that the ABJ joint has a remote probability of debonding; should this occur, the fail-safe condition

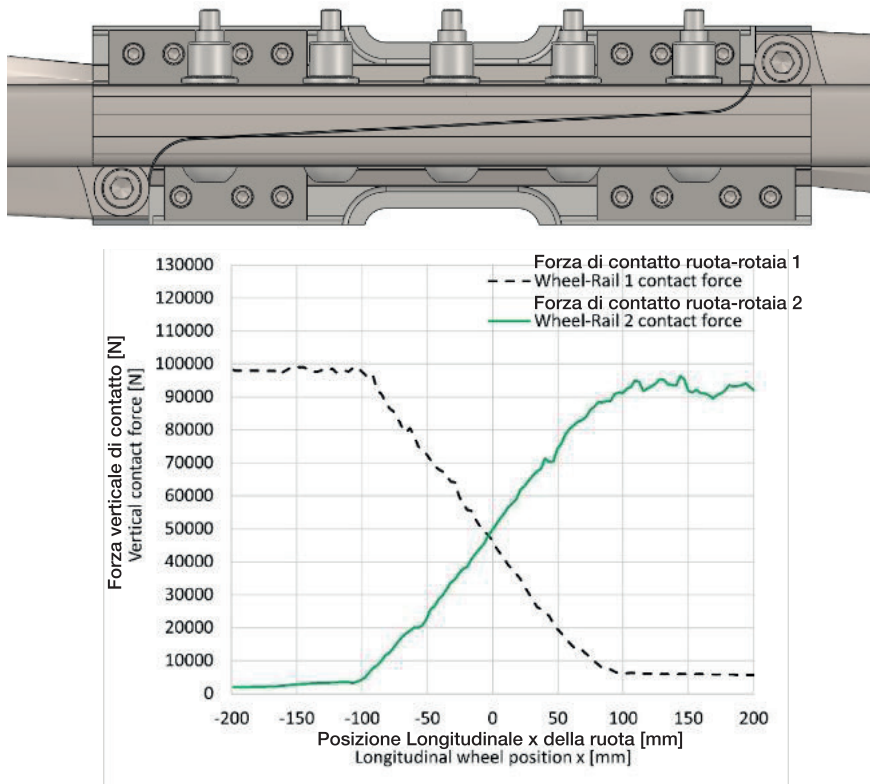


Figura 10 - Risultati della simulazione agli elementi finiti per la verifica del comportamento dinamico del giunto [12]. Si noti il disegno del primissimo prototipo del giunto, con 5 chiodi Huck (successivamente portati a 6) ed “traversini” (successivamente rimossi perché non necessari). La sostanza del calcolo non cambia nella versione finale del giunto.

Figure 10 - Results of the finite element simulation for the validation of the dynamic behaviour of the joint [12]. Note the drawing of the first prototype of the joint, with 5 Huck fishbolts (later increased to 6) and “clamps” (later removed as unnecessary). Results do not change noticeably in the final version of the joint.

ricchi esterni possono essere calcolate con buona approssimazione, il comportamento del collante non è facilmente modellabile, in particolare se combinato all'azione di bloccaggio dei chiodi. Un esempio delle tensioni, calcolate tramite il metodo agli elementi finiti, su una delle due barre per ago del giunto sotto l'azione di un carico verticale centrato pari a 300 kN è riportato in Fig. 11.

La progettazione di giunti ibridi, cioè incollati e bullonati, non è infatti completamente descritta dalla letteratura tecnica e scientifica, e per questo motivo spesso viene fatta l'ipotesi che la resistenza globale sia data dalla somma della resistenza “meccanica” dei chiodi di bloccaggio e della resistenza “chimica” del collante. Tale ipotesi può essere valida per giunti poco sollecitati mentre non trova alcun riscontro di letteratura per giunti fortemente sollecitati come il giunto ABJ.

Ad esempio, considerando solamente la resistenza strutturale del collante epossidico bicomponente normalmente impiegato nei GII (descritto nella specifica [13] in cui viene specificata una resistenza a taglio $\tau=24$ MPa) che interessa

achieved thanks to the peculiar arrangement of the insulating elements described above prevents any breakage, stopping traffic and requiring the immediate replacement of the joint.

About structural strength, while the stresses on the main elements (switch bars, joint cover and fishbolts) under the action of external loads can be calculated with good approximation, the behaviour of the glue is not easily modelled, especially if combined with the pre-loading action of the fishbolts. An example of the stresses, calculated by the finite element method, on one of the two switch bars under the action of a centred vertical load of 300 kN is shown in Fig. 11.

The design of hybrid joints, i.e. bonded and bolted, is not completely described in the technical and scientific literature, and for this reason the hypothesis that the global resistance is given by the sum of the “mechanical” resistance of the bolts and the “chemical” resistance of the glue is often made. This hypothesis may be valid for lightly stressed joints, while it is not found in the literature for highly stressed joints such as the ABJ.

For example, considering only the strength of the two-component epoxy glue normally used in IRJs (described in the specification [13] where a shear strength of $\tau=24$ MPa is requested) which acts over an area $A=95387$ mm², a pull-apart strength $F=\tau A= 2290$ kN is obtained, which by itself would be sufficient to guarantee the tensile strength of the joint. However, this value is purely theoretical since the resistance of the adhesive is calculated as an average value on the bonding area without considering the edge effects which also have an important influence on the peel stresses which tend to separate the two adherends.

The importance of the contribution of the fishbolts is therefore confirmed both by the finite element calculations and by the first tests on the prototypes. The calculation showed that shear and peel stresses in the contact elements reach values compatible with the strength of the adhesive considering the preload of just four fishbolts.

The uncertainty inherent of a not universally accepted calculation model therefore required greater design caution in the initial stages of the ABJ project. For this reason, the first prototypes were assembled, beyond the six horizontal fishbolts between the switch bars and the two vertical fishbolts locking the joint cover, with additional clamps which

un'area $A=95387 \text{ mm}^2$, si ottiene una resistenza pari a $F=\tau A= 2290 \text{ kN}$, di per sé sufficiente a garantire la resistenza alla trazione del giunto. Tale valore è però, puramente teorico in quanto la resistenza del collante è calcolata come valore medio sull'area d'incollaggio senza considerare gli effetti di bordo in cui influiscono in maniera importante anche le tensioni di *peel* che tendono a separare i due aderendi.

L'importanza del contributo dei chiodi di bloccaggio è quindi confermata sia dai calcoli agli elementi finiti che dalle prime prove sui prototipi. Il calcolo ha dimostrato che le tensioni di taglio e di *peel* negli elementi di contatto raggiungono valori compatibili con la resistenza del collante solo considerando il precarico di almeno quattro chiodi.

L'incertezza insita in un modello di calcolo non universalmente accettato ha quindi richiesto una maggiore cautela progettuale negli stadi iniziali del progetto ABJ. Per questo i primi prototipi sono stati assemblati, oltre che con i sei chiodi trasversali tra le barre per ago ed i due chiodi verticali che bloccano il coprigiunto, anche con ulteriori morsetti di bloccaggio ("traversini" o "clamps") che tramite quattordici viti M12 rafforzavano ulteriormente il collegamento tra barre e coprigiunto (Fig. 12).

Il primo prototipo ABJ_001 aveva l'unico scopo di verificare la fattibilità del progetto e, provocatoriamente, era stato realizzato con 5 chiodi trasversali (ovviamente un numero di chiodi dispari è impossibile in un giunto convenzionale!). Questa soluzione è stata subito abbandonata in quanto limitava fortemente l'accesso all'attacco nel centro il giunto.

4. Le prove investigative sulla preserie dei giunti ABJ

È opportuno premettere e sottolineare, prima di introdurre le prove di laboratorio, come le prove di qualsiasi tipo non possano in alcun caso riprodurre le reali condizioni in cui i GII si trovano a lavorare. Risulta infatti impossibile riprodurre in laboratorio i carichi dinamici dovuti alla discontinuità della rotaia creata dalla presenza del giunto e dai conseguenti urti che, oltre ad essere un'importante fonte di rumore e vibrazione, risultano essere la *root cause* dei principali modi di guasto dei GII. Giocoforza, quindi, si sono programmate solamente delle verifiche sperimentali in accordo con gli standard attuali che prevedono prove "statiche", cioè in cui le azioni dinamiche non sono presenti in quanto i carichi sono applicati o staticamente o a frequenza bassa.

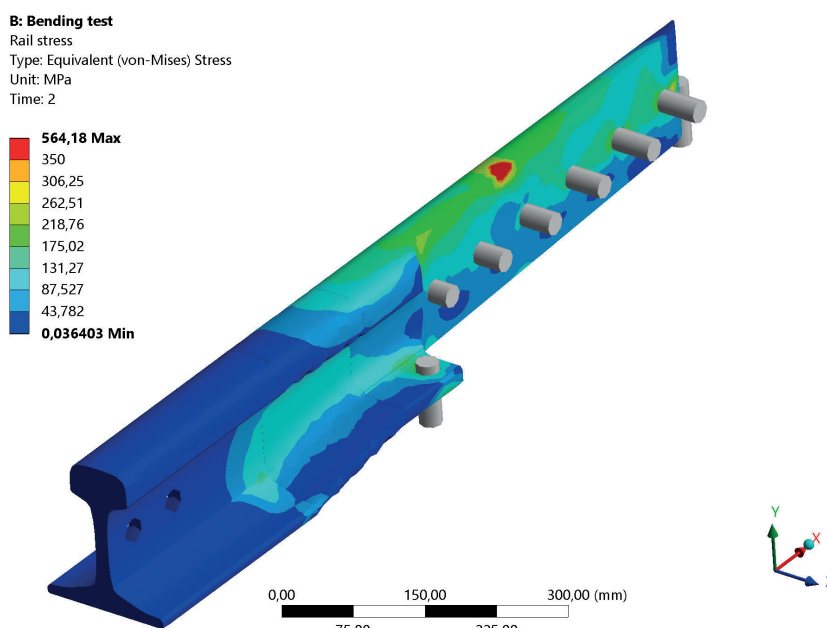


Figura 11 - Tensioni di Von Mises su una delle due barre per ago che compongono il giunto sotto un carico di flessione pari a 300 kN.

Figure 11 - Von Mises stresses on one of the two switch bars that make up the joint under a bending load of 300 kN.



Figura 12 - Uno dei primi prototipi del giunto ABJ sottoposto a prova di flessione ancora nella versione con i "traversini" (successivamente rimossi).

Figure 12 - One of the first prototypes of the ABJ joint undergoing bending fatigue tests still in the version with the clamps (later removed).

Le prove qui sotto descritte sono state effettuate presso i laboratori dell'Università Tecnica di Monaco (TUM), istituzione riconosciuta a livello mondiale per le prove sui componenti dell'armamento.

Una prima preserie di cinque giunti (ABJ_002...006) è stata utilizzata non solo per testare la resistenza del giunto ma anche per validare le ipotesi di calcolo. Questa preserie, con ancora i traversini di bloccaggio, ha mostrato valori largamente sovrabbondanti quelli minimi richiesti, sopravvivendo a carichi di *pull-apart* (trazione) di oltre 2000 kN e ad una prova di fatica (flessione) per 3 milioni di cicli con carico alternato tra 5 e 300 kN. Tali valori sono stati scelti per soddisfare i requisiti sia della specifica RFI [13] che quelli della recente norma europea [14].

Come mostrato in Fig. 13, a margine delle prove per così dire "principali" si è colta l'occasione per valutare configurazioni alternative del giunto, in modo da semplificarne la struttura, le fasi di montaggio ed il numero di componenti. Dalle prove è emerso che la presenza dei traversini non risultava necessaria a soddisfare i requisiti meccanici sia con carichi assiali che flessionali.

A puro titolo di investigazione, due giunti sono stati ulteriormente semplificati per valutarne la resistenza utilizzando solo quattro chiodi trasversali anziché sei. Le prove hanno mostrato un notevole indebolimento del giunto che in due prove si è rotto a circa a 1300 kN, un valore comunque non così lontano dal valore minimo richiesto dalla nuova norma [14] per un $\Delta T=50^\circ$ C, cioè 1450 kN.

I risultati delle prove esplorative hanno dimostrato che:

- i calcoli agli elementi finiti effettuati considerando le classiche proprietà degli elementi di contatto si sono dimostrati non essere in grado di riprodurre il reale comportamento del giunto ABJ, che è un giunto ibrido fortemente sollecitato, e sarebbero necessari criteri di modellazione o ipotesi di resistenza / collaborazione fra i vari componenti più sofisticate per ottenere risultati numerici più accurati;
- la resistenza meccanica del giunto ABJ, anche nella configurazione "semplificata" senza traversini, è abbondantemente superiore a quella alle richieste di qualunque normativa e permette anche di ipotizzarne un uso con successo nel settore *heavy haul*;



Figura 13 - Sintesi delle prove meccaniche effettuati al TUM sulla prima preserie (ABJ_002...006). Come si osserva, dopo aver superato le prove previste, due giunti (ABJ_002 ed ABJ_005) sono stati riutilizzati in prove ulteriori (rimuovendo i "traversini" o i due chiodi centrali) pur essendo già stati "stressati".

Figure 13 - Summary of the mechanical tests carried out at TUM on the first pre-series (ABJ_002...006). As can be seen, after having passed the planned tests, two joints (ABJ_002 and ABJ_005) were reused in further tests (removing the clamps or the two central fishbolts) even though they were already "stressed".

via fourteen M12 screws, further strengthening the connection between the bars and the joint cover (Fig. 12).

The first prototype ABJ_001 had the sole purpose of verifying the feasibility of the project and, provocatively, was made with 5 horizontal fishbolts (obviously an odd number of bolts is impossible in a conventional joint!). This solution was immediately abandoned as it severely limited access to the rail fastener in the centre of the joint.

4. Evaluation tests on the pre-series of ABJ joints

It is worth to declare and underline, before introducing the laboratory tests, how tests of any type cannot reproduce the real conditions in which IRJs work. In fact, it is impossible to reproduce in the laboratory the dynamic loads due to the discontinuity created by the presence of the joint and the following impacts which, in addition to being an important source of noise and vibration, are the root cause of

- il giunto ABJ è configurabile a seconda delle varie esigenze, ad esempio nei casi in cui non siano previsti importanti carichi termici, come nelle metropolitane, essendo possibile realizzare versioni ulteriormente semplificate.

5. Prove ufficiali di qualifica del giunto ABJ

Dato il buon esito delle prove investigative è stata realizzata un'ulteriore preserie (ABJ_007...009) in cui sono state applicate le modifiche derivanti dalle indicazioni dei test effettuati sui primi cinque prototipi, cioè l'eliminazione dei traversini e la modifica di alcuni elementi isolanti per garantire la risoluzione di alcuni problemi di resistenza elettrica verificatisi durante le prove investigative a causa della combinazione materiali/spessori utilizzati.

Sono state effettuate quindi prove ufficiali *in primis* per la qualifica in accordo alla nuova norma Europea sui GII [14] e quindi in accordo alle specifiche tecniche di fornitura di alcuni gestori dell'infrastruttura (RFI [13], TCDD [15] e ÖBB [16]). In Fig. 14 è mostrata la configurazione per la prova di trazione, mentre in Fig. 15 per quella di flessione. I risultati delle prove hanno dimostrato che il

the main failure modes of IRJs. Therefore, experimental tests were planned only in accordance with the current standards that provide specifications for "static" tests, i.e. in which dynamic loads are not present since the loads are applied either statically or at low frequency.

The tests described below were carried out at the laboratories of the Technical University of Munich (TUM), a world-renowned institution for testing track components.

A first pre-series of five joints (ABJ_002...006) was used not only to test the joint strength but also to validate the calculation hypotheses. This pre-series, still with the clamps, exhibited values largely exceeding the minimum required, surviving pull-apart loads (tensile) of over 2000 kN and a fatigue test (bending) for 3 million cycles with alternating load between 5 and 300 kN. These values were chosen to satisfy the requirements of both the RFI specification [13] and those of the recently published European standard [14].

As shown in Fig. 13, beside so-called "main" tests, the opportunity was taken to evaluate alternative configurations of the joint, in order to simplify its structure, assembly phases and the number of components. The tests showed that the presence of the clamps was not necessary to satisfy the mechanical requirements under both axial and bending loads.

For purely investigative purposes, two joints were further simplified to evaluate their resistance using only four horizontal lockbolts instead of six. The tests showed a significant weakening of the joint which in two tests broke at approximately 1300 kN, a value however not so far from the minimum value required by the new standard [14] for a $\Delta T=50^\circ C$, i.e. 1450 kN.

The results of the exploratory tests demonstrated that:

- *finite element calculations performed considering the classical properties of the contact elements proved not to be able to reproduce the real behaviour of the ABJ joint, which is a highly stressed hybrid joint, and more sophisticated modelling criteria or hypotheses of strength / collaboration between the various components would be necessary to obtain more accurate numerical results;*
- *the mechanical strength of the ABJ joint, even in the "simplified" configuration without clamps, is far superior to that required by any regulation and also allows to forecast its successful use in the heavy haul sector;*



Figura 14 - Prova di trazione sul giunto ABJ_007. Due trasduttori di spostamento sono posizionati per la misura dell'allungamento residuo al termine della prova che è definito nelle varie normative.

Figure 14 - Tensile test on the ABJ_007 joint. Two displacement transducers are positioned to measure the residual elongation at the end of the test which is defined in various standards.



Figura 15 - Prova di flessione sul giunto ABJ_009. Un trasduttore di spostamento è posizionato per monitorare l'abbassamento verticale del giunto durante l'intero arco della prova.

Figure 15 - Bending test on the ABJ_009 joint. A displacement transducer is positioned to monitor the vertical lowering of the joint during the entire test.

giunto ABJ è in grado di soddisfare tutti i requisiti meccanici ed elettrici richiesti in termini di:

- resistenza longitudinale: il giunto è stato sottoposto a diverse condizioni di carico longitudinale raggiungendo una forza massima $F=2000$ kN, in accordo alla normativa turca [15] ed austriaca [16], senza mostrare rotture o deformazioni permanenti. Si noti che tale forza longitudinale corrisponde ad una variazione termica rispetto alla temperatura neutra non riscontrabile nella realtà. Infatti, $\Delta T=F/\alpha EA=103^\circ\text{C}$ ($\alpha=1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $E=210 \times 10^9 \text{ MPa}$, $A=7670 \text{ mm}^2$ per la rotaia 60E1). Si noti che la norma europea [14] prevede l'utilizzo di un coefficiente di sicurezza γ_s almeno pari a 1.5, per cui il valore di ΔT rispetto alla temperatura neutra (SFT, Stress-Free Temperature) risulterebbe pari a circa 69°C . Tali condizioni termiche sembrano risultare al di fuori dalla pratica comune;
- resistenza ai carichi affaticanti: il giunto è stato sottoposto a un carico verticale alternato applicato al centro del giunto con gli appoggi posizionati a una distanza di 1100 mm (in modo da riprodurre la situazione anomala di una traversa mancante). Il massimo valore di momento flettente durante il ciclo di carico è stato pari a 71.25 kNm (carico max di 300 kN per $2 \cdot 10^6$ cicli) in accordo a [13] che risulta essere la più severa in termini di carico massimo tra tutte quelle considerate. Anche in questo caso si tratta di condizioni di carico fuori dalla pratica comune, trattandosi del momento flettente generato da veicoli con carico assiale di 60 t/asse in assenza della traversa di appoggio, condizione richiesta dalla specifica in quanto il martellamento delle ruote rende il ballast poco efficace sotto i giunti convenzionali, condizione che viceversa con l'ABJ è del tutto irrealistica;
- resistenza elettrica: la resistenza elettrica è risultata superiore al massimo misurabile dallo strumento utilizzato ($R>1200 \text{ M}\Omega$). Il requisito in [13], molto stringente ($R>600 \text{ M}\Omega$), risulta quindi ampiamente soddisfatto.
- isolamento elettrico: il giunto è stato sottoposto a valori di tensione alternata (fino a 4000 VAC) per un minuto senza l'instaurazione di archi elettrici tra le parti del giunto isolate, quindi le stringenti richieste sulla rigidità dielettrica indicate in [13] sono soddisfatte.

In Tab. 2 si riporta una sintesi dei risultati ottenuti. Si noti che il giunto ABJ_009 è stato soggetto ad un carico affaticante incrementale essendo stato sottoposto prima alla prova secondo EN per tre milioni di cicli e successivamente alla prova secondo ÖBB per altri cinque milioni di cicli, resistendo senza danneggiamenti strutturali per un totale di 8 milioni di cicli.

Al fine di confermare i criteri di progetto che individuano i chiodi ad asse verticale quali elementi maggiormente soggetti a fatica e di valutare gli effetti di questo modo di guasto, lo stesso giunto ABJ_009 è stato ulteriormente assoggettato, dopo essere sopravvissuto a 3 milioni di cicli

- *The ABJ joint can be configured according to various needs, for example in cases where significant thermal loads are not expected, such as in underground lines, and it is possible to create further simplified versions.*

5. Official qualification tests of the ABJ joint

Given the successful outcome of the exploratory tests, a further pre-series (ABJ_007...009) was created in which the modifications resulting from the indications of the tests carried out on the first five prototypes were applied, i.e. the elimination of the clamps and the modification of some insulating elements to solve some electrical resistance problems that emerged during the exploratory tests due to the combination of materials/thicknesses used.

Official tests were therefore carried out primarily for qualification in accordance with the new European standard on IRJ [14] and then in accordance with the technical supply specifications of some infrastructure managers (RFI [13], TCDD [15] and ÖBB [16]). In Fig. 14 the configuration for the tensile test is shown, while in Fig. 15 the one for bending. The test results demonstrated that the ABJ joint is able to satisfy all the mechanical and electrical requirements requested in terms of:

- *longitudinal resistance: the joint was subjected to different longitudinal load conditions reaching a maximum force $F=2000$ kN, in accordance with the Turkish [15] and Austrian [16] specifications, without showing failures or permanent deformations. Note that this longitudinal force corresponds to a thermal variation with respect to the neutral temperature that cannot be found in reality. In fact, $\Delta T=F/\alpha EA=103^\circ\text{C}$ ($\alpha=1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $E=210 \times 10^9 \text{ MPa}$, $A=7670 \text{ mm}^2$ for 60E1 rail). Please note that the European standard [14] considers for the use of a minimum safety coefficient γ of 1.5, so the value of ΔT compared to the neutral temperature (SFT, Stress-Free Temperature) would be approximately 69°C . These thermal conditions appear to be outside of common practice;*
- *resistance to fatigue loads: the joint was subjected to an alternating vertical load applied to the centre of the joint with the supports positioned at a distance of 1100 mm (in order to reproduce the extraordinary condition of a missing sleeper). The maximum value of the bending moment during the load cycle was equal to 71.25 kNm (max load of 300 kN for $2 \cdot 10^6$ cycles) in accordance with [13] which turns out to be the most severe in terms of maximum load among all those considered. Also in this case these load conditions are outside of common practice, being the bending moment the one generated by vehicles with an axial load of 60 t/axle in the absence of a support sleeper, a condition required by the specification since the hammering of the wheels makes the ballast ineffective under conventional joints, a condition which on the contrary with the ABJ is completely unrealistic;*
- *electrical resistance: the electrical resistance was found to be higher than the maximum measurable by the in-*

Tabella 2 – Table 2

Tabella di sintesi delle prove di qualifica superate dai giunti della seconda preserie. Anziché le forze verticali specificate dalle varie normative vengono indicati i momenti flettenti in mezzeria del giunto

Summary table of qualification tests passed by the joints of the second pre-series. Instead of the vertical forces specified by the various standards, the bending moments at the centre of the joint are indicated

Prove di tensione superate/Tensile tests passed			
	EN13684 [14]	RFI [13]	ÖBB -TCDD [15][16]
ABJ_007	$F > 1450 \text{ kN}$	$F > 1500 \text{ kN}$	$F > 2000 \text{ kN}$
Prove di fatica a flessione superate Bending tests with fatiguing load passed			
ABJ_008	-	$M_{max} = 71.25 \text{ kNm}$ $n > 2 \text{ million cycles}$	-
ABJ_009	$M_{max} = 26.5 \text{ kNm}$ $n > 3 \text{ million cycles}$	-	$M_{max} = 50 \text{ kNm}$ $n > 5 \text{ million cycles}$

con 26.5 kNm e 5 milioni di cicli con 50 kNm, al carico flessionale previsto dalla specifica RFI (71.25 kNm), monitorando la resistenza elettrica tra le barre per individuare eventuali danneggiamenti interni (rottura della sagoma in vetroresina o dei cannotti isolanti dei chiodi).

Come previsto da progetto si è quindi verificata la rottura di un chiodo verticale ed il conseguente distacco della piastra coprigiunto rispetto alla suola delle barre. La prova è proseguita fino al completamento dei due milioni di cicli prescritti senza alcuna rottura catastrofica del giunto, senza scollamento fra le barre, mantenendo quindi l'integrità richiesta per la sicurezza del passaggio dei convogli sullo stesso. Si è solamente osservato un ovvio aumento della deflessione sotto il carico massimo (Fig. 16). Que-



Figura 16 - Rottura di uno dei chiodi verticali e scollamento del coprigiunto durante la prova di flessione del giunto ABJ_009 (sinistra). Deflessioni prima (tre cicli simili, spostamento circa 2 mm) e dopo la rottura del chiodo (cicli singolo, spostamento circa 4 mm) (destra).

Figure 16 - Failure of one of the vertical fishbolts and detachment of the joint cover during the bending test of the ABJ_009 (left). Deflections before (three similar cycles, displacement about 2 mm) and after the fishbolt failure (single cycle, displacement about 4 mm) (right).

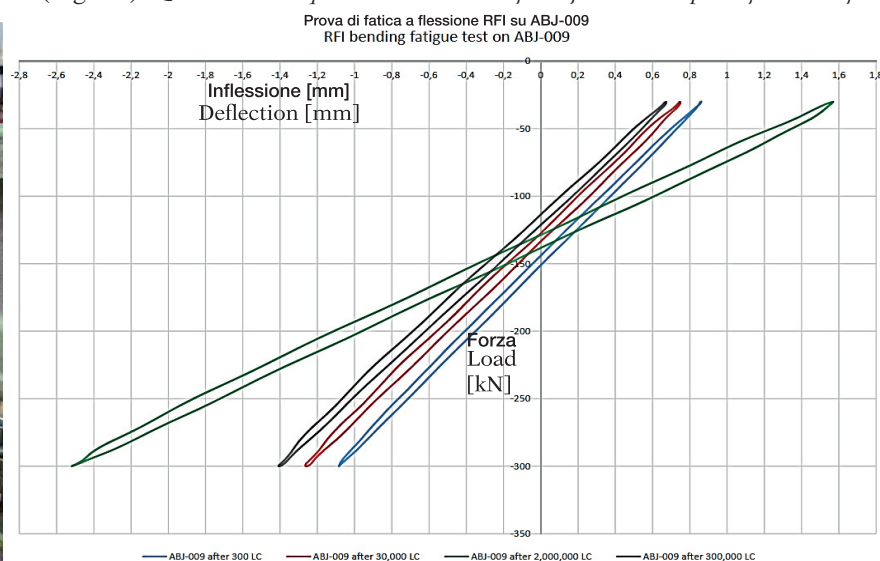
strument used ($R > 1200 \text{ M}\Omega$). The requirement in [13], very tough ($R > 600 \text{ M}\Omega$), is therefore largely satisfied.

- electrical insulation: the joint was subjected to alternating voltage values (up to 4000 VAC) for one minute without electric arcs sparking between the insulated joint parts, hence the tough requirements on dielectric strength indicated in [13] are satisfied.

In Tab. 2 a summary of the results obtained is reported. It should be noted that the ABJ_009 joint was subjected to an incremental fatigue load having first been subjected to the EN test for three million cycles and then to the ÖBB test for another five million cycles, resisting without structural damage for a total of 8 million cycles.

In order to confirm the design criteria that identify vertical-axis fishbolts as the elements most subject to fatigue and to evaluate the effects of this failure mode, the same ABJ_009 joint was further subjected, after having survived 3 million cycles with 26.5 kNm and 5 million cycles with 50 kNm, to the bending load foreseen by the RFI specification (71.25 kNm), monitoring the electrical resistance between the bars to identify any internal damage (breakage of the fiberglass shape or of the insulating fishbolt sleeves).

As foreseen by the design, a vertical fishbolt broke and the consequent detachment of the joint cover plate from the foot



sto conferma una volta di più l'eccezionale robustezza dell'ABJ che, anche in condizioni molto degradate, risulta molto più flessibile ma senza danneggiamenti catastrofici a danno della sicurezza.

6. Conclusioni e sviluppi

La memoria ha presentato un nuovo tipo di Giunto Isolante Incollato, denominato ABJ – *Absolutely Better Joint*, che elimina la *root cause* dei guasti dei GII convenzionali in quanto gli urti al passaggio delle ruote sono completamente eliminati grazie alla transizione graduale data dal taglio inclinato. L'uso del giunto risulta intrinsecamente sicuro in quanto in caso di scollamento il giunto “va in corto” bloccando la circolazione, realizzando una condizione *fail-safe*.

Le prove di laboratorio effettuate presso il TUM hanno fornito dapprima preziose indicazioni per la semplificazione e l'ottimizzazione del giunto e successivamente hanno permesso di dimostrare il soddisfacimento di tutti i requisiti (elettrici e meccanici) previsti dalle norme internazionali e dalle più stringenti specifiche di alcuni gestori dell'infrastruttura.

Si può quindi concludere che il giunto ABJ rappresenti la soluzione definitiva a tutti i problemi legati al degrado ed ai guasti dei GII convenzionali, aumentando considerevolmente i livelli di sicurezza correlati a questo componente critico.

Sono attualmente in corso contatti con diversi gestori infrastruttura (ADIF, DB, Network Rail, RFI, TCDD, etc.) per effettuare la sperimentazione in linea necessaria al completamento del processo omologativo. A tal fine è attualmente in corso la produzione del primo lotto di serie di giunti ABJ destinati alle prove in linea, che verranno descritte in un successivo articolo.

7. Ringraziamenti

Le attività di ricerca sono state sviluppate autonomamente mentre la costruzione dei prototipi ed i test di laboratorio sono stati finanziati dalla società Overail S.r.l. del gruppo Salcef Group S.p.A., attuale licenziataria del brevetto.

of the switch bars occurred. The test continued until the completion of the two million prescribed cycles without any catastrophic breakage of the joint, without detachment between the switch bars, thus maintaining the integrity required for the safety of the passage of the trains on it. Only an obvious increase in deflection under the maximum load was observed (Fig. 16). This confirms once again the exceptional robustness of the ABJ which, even in very degraded conditions, is much more flexible without resulting in catastrophic damages.

6. Conclusions and developments

The paper has introduced a new type of Insulated Rail Joint, called ABJ – Absolutely Better Joint, which eliminates the root cause of failures of conventional IRJs as the shocks during wheels passing-by are avoided thanks to the gradual handover given by the inclined cut. The use of the joint is intrinsically safe as in the event of debonding the joint short circuits the rails automatically stopping railway traffic, creating a fail-safe condition.

The laboratory tests initially carried out at TUM provided valuable indications for the simplification and optimization of the joint and the following tests demonstrated how all the performances (electrical and mechanical) requested by the international standards and by the most stringent specifications of some infrastructure managers are met.

It can therefore be concluded that the ABJ joint represents the final solution to all problems related to the degradation and failures of conventional IRJs, considerably increasing the safety levels related to this critical component.

Contacts are currently underway with various infrastructure managers (ADIF, DB, Network Rail, RFI, TCDD, etc.) to carry out the on-line testing necessary to complete the approval process. To this end, the first batch of series of ABJ joints intended for on-line testing is currently being produced, which will be described in a future paper.

7. Acknowledgements

Research activities were developed independently while the manufacturing of the prototypes and the laboratory tests were funded by the company Overail Srl of the Salcef Group SpA group, the current licensee of the patent.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] EN 62290-1:2014 - Railway applications, “Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts” (IEC 62290-1:2014), CEN, Brussels.
- [2] XIAO H, LIU G, YAN D, ZHAO Y, WANG J, WANG H. (2021), “Field test and numerical analysis of Insulated rail joints in heavy-haul railway”. *Construction and Building Materials*. Volume 298, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123905>.
- [3] LB Foster, Rail products (2025) <https://lbfoster.com/rail/rail-products>, (visitato il 18.03.2025).
- [4] MANDAL N.K., BRACCIALI A, MEGNA G. (2023), “Evaluation of railhead material damage of insulated rail joints due to cyclic wheel loadings”, *Wear*, Volumes 528–529, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204966>.

- [5] LA PLACA A, FREDDI F, GIULIANI F. (2024), “*Monitoring of Insulated Rail Joints Based on Gap Value Measurement*”. Urban Rail Transit, Volume 10, <https://doi.org/10.1007/s40864-023-00206-0>.
- [6] Voestalpine (2025), “*Insulated Rail Joints IVB 30 / IVG 30*”, <https://www.voestalpine.com/railway-systems/en/products/insulated-rail-joint-ivb-30-ivg-30/>, (visitato il 18.03.2025).
- [7] DB manual (2013), “*Work procedures for permanent way maintenance*”, 7th revised and extended edition – Bahn Fachverlag GmbH, Berlin 2013.
- [8] EN 13674-2:2019 - *Railway applications - Track - Rail - Part 2: Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above*, CEN, Brussels.
- [9] EN 16273:2014 - *Railway applications - Track - Forged rail transitions*, CEN, Brussels.
- [10] BRACCIALI A, MEGNA G (2024), *FMEA, monitoring, retrofit and redesign of insulated rail joints*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1306 012014.
- [11] Hird Rail Development (2025), “*RailTec Cold Bolt Hole Expansion (CBX) Kit*”, <https://www.hirdraildevelopment.com/products/bolt-hole-crack-prevention-cbx/>, (visitato il 18.03.2025).
- [12] MEGNA G, BRACCIALI A, MANDAL N.K. (2023), “*Design, wheel-rail interaction and testing of an innovative reinforced smooth transition insulated rail joint*”, *Wear*, Volumes 530–531, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.205038>.
- [13] RFI TCAR SF AR 07 008 A (2016), “*Specifica tecnica di fornitura dei giunti isolanti incollati*”.
- [14] EN 16843:2024, *Railway applications - Infrastructure - Mechanical requirements for joints in running rails*, CEN, Brussels.
- [15] TCDD (2017), “*Insulated Rail Joint (IRC) Technical Specification*”.
- [16] ÖBB-Infrastruktur (2013), “*Isolierstöße – 07 09.26 - Technische Lieferbedingungen*”.