

# **VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI SICUREZZA DI UNA CASSA DI MANOVRA NON CONVENZIONALE**

A. Bracciali, F. Piccioli

*Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Università degli Studi di Firenze  
Via Santa Marta, 3 - 50139 Firenze, e-mail: fabio.piccioli@unifi.it*

## **SOMMARIO**

Il dispositivo di movimentazione degli aghi di un deviatoio ferroviario, detto cassa di manovra, assolve a numerose funzioni che sono critiche per la sicurezza della marcia dei treni. Nella memoria viene illustrata un'analisi comparativa di due sistemi di fermascambiatore per alte velocità: il primo, tradizionale, in uso da parecchi anni e l'altro, di tipo innovativo, inserito in una traversa metallica al fine di consentire la manutenzione del binario. L'analisi della sicurezza, di difficile applicazione, è integrata da un'analisi critica delle sollecitazioni agenti sui deviatori ferroviari per carichi di esercizio normali, anomali ed eccezionali.

Vengono mostrati i risultati di una analisi strutturale e funzionale che dimostra come il dispositivo di fermascambiatore della cassa di manovra innovativa fornisca livelli di sicurezza paragonabili ai migliori sistemi esistenti.

## **ABSTRACT**

Point machines perform numerous functions that are critical for trains running safety. In the paper a comparative analysis of two point locks is shown. The first locking device is in use since many years and the other, innovative, is inserted in a steel sleeper such that the current track maintenance (tamping) is possible for automated machines. Safety analysis, pretty hard to perform, is integrated by a critical analysis of forces acting on railway switches for normal, abnormal and exceptional loads.

The structural and functional analyses results are shown, proving that the locking device of the innovative point machine guarantees safety levels comparable to those achievable through the actual best devices.

## **1. INTRODUZIONE**

Vista la singolarità che un deviatoio costituisce su una linea ferroviaria e la criticità delle possibili errate manovre, le casse di manovra sono chiamate a svolgere, al di là della manovra propriamente detta degli aghi, una serie di funzioni di sicurezza che sono forse più importanti della manovra stessa. E' facile infatti immaginare l'impatto che possono avere sulla sicurezza

di un convoglio in transito la rottura o il malfunzionamento degli organi primari di una cassa di manovra. Dopo la manovra vera e propria devono essere espletate in sequenza due funzioni, che garantiscono l'avvenuta movimentazione e consentono il traffico in sicurezza senza altre restrizioni oltre a quelle di progetto del deviatoio: l'assicurazione (bloccaggio delle parti mobili nella posizione voluta raggiunta durante la movimentazione) ed il controllo (segnale di *feedback* che testimonia sia l'avvenuta movimentazione che l'avvenuta assicurazione).

Il problema del controllo riguarda la progettazione e la realizzazione di contatti elettromeccanici, e non verrà discusso in questa sede. L'assicurazione consiste, essenzialmente, in una serie di dispositivi meccanici atti ad evitare che, sotto carichi predefiniti, la parte mobile (ago) e la parte fissa corrispondente (conrago) vengano a muoversi per effetto dei carichi dinamici impartiti dal passaggio dei convogli. A tali dispositivi meccanici si dà il nome di "fermascambio".

Storicamente, per evidenti motivi di economicità, le tre funzioni (movimentazione, assicurazione, controllo) sono state effettuate all'interno della cassa di manovra stessa. Queste casse, definite pertanto a "fermascambiatura interna", sono normalmente poste a lato del deviatoio, e sono ad esso collegate con un telaio metallico ("zatterone"), mentre la manovra viene effettuata con aste di comando ("tiranti di manovra") ed il controllo con aste separate che sono soggette, evidentemente, ai soli carichi necessari alla movimentazione dei contatti elettrici ("tiranti di controllo").

Purtroppo il sistema, efficiente ed economico, non consente la manutenzione corrente del binario con macchine automatiche (rincalzatrici), non garantisce in caso di guasto la possibilità di transitare sul deviatoio (rimuovendo la cassa per la sostituzione si perde la fermascambiatura) e risulta assai soggetto alle vibrazioni ed agli urti avendosi organi meccanici lunghi e snelli interposti fra gli organi da assicurare ed il meccanismo di fermascambiatura vero e proprio.

Quest'ultimo problema si è evidenziato, con l'avvento delle velocità più elevate, per quei deviatoli da percorrere a velocità di oltre 100 km/h sul ramo deviato. In questi deviatoli non è pensabile, per la lunghezza degli aghi, utilizzare un unico punto di manovra.

Inoltre, dato che un deviatoio non deve costituire un vincolo alla velocità di linea, la fermascambiatura deve garantire l'assicurazione dell'ago accosto al conrago in corretto tracciato alla velocità della piena linea.

Ai fini del presente lavoro, vale la pena citare i seguenti sistemi di manovra per armamento pesante (60 kg/m):

- il sistema P75, usato nella Direttissima Roma-Firenze, con cassa di manovra a tirante unico in grado di comandare più punti con una serie di leveraggi meccanici, e fermascambiatura esterna che blocca solo l'ago accosto realizzata con fermascambi a corsoio (detti "verrou carter coussinet") posizionati localmente fra ago e conrago. Questo sistema soffre di dilatazioni termiche molto importanti, problemi di controllo elettrico per le vibrazioni alle quali sono soggette le scatole di controllo posizionate a metà fra i rinvii, difficile manutenzione e, in generale, problemi di scarsa affidabilità [1];
- l'ultimo tipo di cassa di manovra "tradizionale", con fermascambiatura interna idonea al transito in corretto tracciato fino a 180 km/h, è il tipo P80 la cui filosofia non è sostanzialmente mutata rispetto alle casse descritte all'inizio in termini di tipologia di funzionamento, alla quale corrisponde il modello P64. A questo tipo di cassa di manovra si farà riferimento nel seguito come "fermascambio interno" o "sistema tradizionale";

- una manovra elettrica con sistema elettromeccanico SE92, costituito da una cassa di manovra P92 e da un sistema di fermascambiatrice esterna sviluppato appositamente che garantisce la fermascambiatrice per velocità fino a 300 km/h in corretto tracciato [2]. Questo tipo di fermascambio verrà nel seguito indicato come “fermascambio esterno”;
- i più recenti sistemi oleodinamici SO [3] con più attuatori di corsa diversa dotati di controllo elettrico e fermascambi esterni tipo SE92 sulla punta. Per motivi di costo l'utilizzo di questi sistemi, è normalmente limitato ai deviatoi a piccola tangente, nei quali spesso si utilizza anche il cuore mobile, azionato anch'esso oleodinamicamente.

Normalmente, per velocità di linea fino a 180 km/h viene utilizzato il sistema P80, lasciando i sistemi SE92 e SO ove la velocità sia superiore ed ai deviatoi a piccola tangente nei quali occorrono diversi punti di movimentazione.

Recentemente è stata sviluppata una cassa di manovra innovativa, denominata CTS2 e costruita dalla General Electric Transportation System di Firenze, che elimina buona parte dei problemi sopra descritti, e che verrà nel seguito indicata con “cassa di manovra innovativa” o “fermascambio innovativo”.

Una speciale traversa metallica alloggia al suo interno le due unità fondamentali costituite dalla motorizzazione e dalla cassa di manovra vera e propria.

L'unità motorizzazione è posta all'esterno del binario ed è collegata alla cassa, centrata sull'asse del binario, attraverso un'asta orizzontale di comando. Dalla parte opposta della motorizzazione può essere, su richiesta, installato un elettromagnete che consente la cosiddetta “intallonabilità a comando” (figura 1).

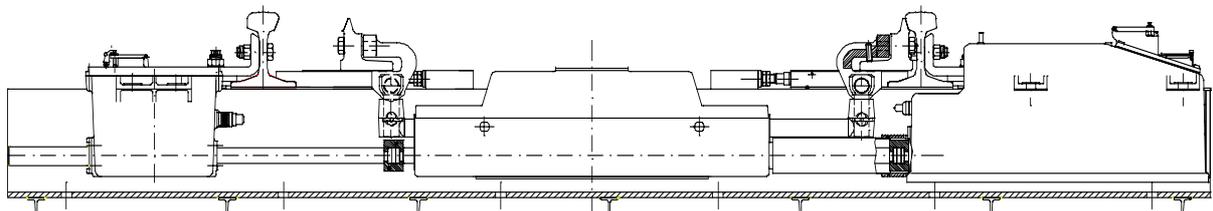


Figura 1 Sezione parziale della cassa di manovra innovativa. Sulla destra l'unità motorizzazione, al centro il gruppo di manovra e controllo aghi, sulla sinistra l'elettromagnete di intallonabilità a comando (opzionale).

I vantaggi principali di questa costruzione sono la modularità (è infatti possibile sostituire rapidamente la sola unità cassa o la sola unità motorizzazione senza dover sostituirle entrambe, garantendo nel caso di sostituzione del solo motore la possibilità di effettuare il normale esercizio ferroviario pur senza poter movimentare il deviatoio) e l'assenza di tiranterie di rimando all'interno del binario, il che facilita la manutenzione del deviatoio ed in particolare rende possibili le operazioni di rinalzo automatico, al contempo riducendo drasticamente le vibrazioni sulla catena cinematica di comando.

Il Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali dell'Università degli Studi di Firenze ha verificato su incarico della predetta società la sicurezza del meccanismo di fermascambiatrice per l'utilizzo alle più alte velocità.

## **2. CONFRONTO DEI MECCANISMI DI FERMASCAMBIATURA**

L'analisi dei meccanismi di fermascambiatura parte dall'identificazione delle ipotesi di calcolo e di lavoro di tali meccanismi, con particolare riferimento alla rispondenza alle caratteristiche funzionali richieste ed ai requisiti di sicurezza ed all'analisi della criticità e degli effetti dei modi di guasto, soprattutto viste le conseguenze di un possibile guasto sulla salute delle persone.

Nel caso in esame, non essendo ben noti i carichi in ingresso, né sotto forma di carichi statici né sotto forma di Power Spectral Densities, si è optato per un'analisi comparativa di prodotti svolgenti la medesima funzione, confrontando quindi il fermascambio innovativo con la fermascambiatura esterna che già risponde alle condizioni funzionali e di sicurezza richieste dalle reti ferroviarie.

In prima istanza le due fermascambiature sono state confrontate a livello funzionale e, solo a verifica funzionale completata, successivamente è stata condotta un'analisi comparata della sicurezza dei due meccanismi.

Il documento di riferimento considerato per la valutazione della fermascambiatura esterna è la descrizione riportata in [2], dalla quale è desunto lo schema riportato in fig. 2. La cassa che contiene il fermascambio è incernierata ad una zampa collegata direttamente al contrago mediante un perno in prossimità del gruppo contatti elettrici, mentre è fissata lateralmente, tramite orecchie ricavate nella fusione della cassa, ad uno zatterone che collega fermascambio e cassa a traverse adiacenti.

Nel caso della cassa innovativa la fermascambiatura non è disgiunta dal meccanismo di movimentazione e controllo, nel senso che tutte le componenti sono raggruppate in un insieme funzionale con dimensioni globali paragonabili a quelle osservate nel fermascambio esterno. Il gruppo, denominato “gruppo di manovra e controllo degli aghi” consente tutte le funzioni di sicurezza indipendentemente dal gruppo motorizzazione che, dovendosi limitare a fornire una forza assiale con opportuno giunto limitatore di forza, potrebbe essere indifferentemente di tipo idraulico o elettromeccanico. Anche se l'analisi della tallonabilità esula dal presente lavoro, è importante notare come il gruppo di tallonamento risieda nel gruppo fermascambio e non, come nelle casse di manovra tradizionali, nel gruppo motorizzazione; questo consente, con grande vantaggio operativo, le funzionalità di tallonamento anche con la motorizzazione completamente rimossa. Inoltre, il tallonamento non è legato alla connessione di tiranti, a tutto vantaggio della sicurezza.

Di particolare interesse è che il collegamento attuatore elettromeccanico (motorizzazione) – elemento cedente (gruppo manovra e controllo aghi) avviene mediante un semplice giunto scomponibile alloggiato all'interno di un tubo di protezione in quale, a sua volta, è interamente contenuto all'interno della traversa metallica e che, pertanto, risulta automaticamente protetto da possibili urti accidentali.

Lo schema della fermascambiatura innovativa è particolarmente complesso e non può essere qui descritto per motivi di brevità; in figura 2 è mostrata una sezione del gruppo con indicazione degli elementi presi successivamente a riferimento per l'analisi strutturale.

In merito alla sicurezza, si può certamente affermare che uno dei problemi più gravi in seguito ad un urto sul tirante dell'ago discosto è che esso può piegarsi plasticamente (deformarsi) di una certa dimensione. Se, durante una manovra successiva, si interpone fra ago e contrago un

oggetto della stessa dimensione della deformazione si riottiene la puntata anche se ago e contrago sono distanti.

La cassa di manovra innovativa non è soggetta a questo tipo di problema in quanto il tirante collegato all'ago discosto, oltre ad essere notevolmente robusto ( $d=60\text{ mm}$ ), è in tale posizione completamente rientrato all'interno della cassa. L'urto, quindi, oltre a costituire una eventualità assai remota, è tale che una eventuale modalità di rottura o deformazione plastica del tirante porta all'automatico bloccaggio dello stesso prevenendo qualsiasi possibilità di movimento del tirante stesso in quanto vengono a danneggiarsi in maniera da impedire il corretto funzionamento, oltre al tirante, elementi fondamentali (bronzina e, probabilmente, cassetto).

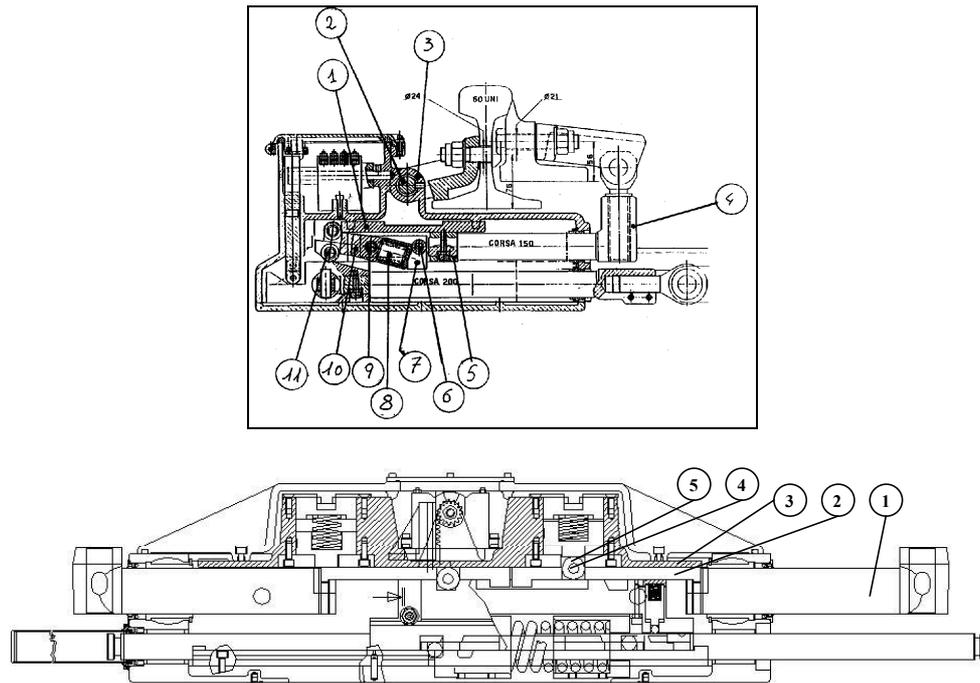


Figura 2 In alto: schema della fermascambiatrice esterna. In basso: schema della cassa innovativa.

E' fondamentale osservare che nel fermascambio innovativo non è possibile muovere un tirante in quanto il meccanismo non può scorrere se non è perfettamente allineato o se comunque fornisce una resistenza eccessiva; in questo caso inoltre non è possibile muovere neanche l'altro tirante in quanto esiste un dispositivo, con battute meccaniche, che impedisce che gli aghi si trovino in condizioni anomale, ossia ambedue accosti o discosti.

Da questo emerge che la probabilità di verificarsi della condizione di riottenimento del controllo a seguito di una manovra durante la quale si è manifestata l'interposizione di un oggetto di dimensioni pari alla eventuale deformazione è nulla.

Altra questione fondamentale riguarda la separazione fra tirante di manovra e tirante di controllo, normalmente utilizzata nelle casse a fermascambiatrice interna (P80). La separazione logico - funzionale deriva dal fatto che i tiranti di manovra sono soggetti a carichi durante la manovra mentre i tiranti di controllo devono solamente trascinare i tamburi porta contatti, con carico quindi praticamente nullo.

Concettualmente opposto è il concetto della fermascambiatura esterna, nella quale il tirante di manovra è l'unico organo che garantisce il completamento della corsa del fermascambio e conseguentemente la sua utilizzazione. Qui la movimentazione dei contatti viene effettuata, peraltro mediante l'interposizione di collegamenti meccanici, direttamente dal tirante di manovra che viene pertanto ad assumere anche la funzione di tirante di controllo.

Nel caso del fermascambio innovativo, la rottura del tirante di manovra (che si trova all'interno della fusione), una volta raggiunto il controllo, non ha alcun effetto sulla fermascambiatura e sul controllo, diversamente dalla fermascambiatura esterna nella quale la presenza di più giunti diminuisce l'affidabilità e la sicurezza.

Per quanto riguarda infine la stabilizzazione, nel fermascambio innovativo il meccanismo relativo non viene sollecitato durante il tallonamento, a differenza delle attuali casse. Quindi, anche in questo caso, la rottura del tirante di manovra, evento come detto pressoché impossibile dato che esso non è sollecitato, non porta a conseguenze negative per la sicurezza in quanto le funzioni di tallonabilità ed intallonabilità vengono mantenute inalterate.

La stabilizzazione, infatti, interessata dal tallonamento, resta sempre inserita anche durante il recupero del parziale tallonamento tramite un apposito meccanismo.

### **3. SOLLECITAZIONI AGENTI SUI DEVIATOI E SUI FERMASCAMBI**

#### **3.1 Considerazioni generali**

Gli organi costituenti l'armamento sono soggetti a degrado derivante prevalentemente dalle notevoli azioni dinamiche impartite dai convogli in transito. Tali effetti sono difficilmente valutabili su di un meccanismo complesso collegato alle rotaie. Vista la sostanziale carenza di dati oggettivi reperibili in letteratura sulle sollecitazioni presenti, si è anche in questo caso optato per un confronto del comportamento strutturale dei due sistemi di fermascambiatura, precisando che non sono in questa sede affrontati i casi di carico non strettamente inerenti allo scopo della valutazione dell'idoneità della cassa innovativa a consentire il transito in corretto tracciato a velocità superiori a 180 km/h. Le tipologie di sollecitazione che verranno prese in considerazione escludono esplicitamente carichi di esercizio eccezionali (tallonamenti); non si tratterà quindi della tallonabilità o della intallonabilità (permanente o a comando) in quanto essa concerne condizioni non di normale esercizio e che possono, in determinate condizioni, portare alla necessità di completa sostituzione di interi organi delle varie tipologie di casse di manovra.

Lasciando la descrizione dei casi di interesse ai successivi paragrafi, le sollecitazioni agenti su aghi e contraghi sono riconducibili alle seguenti:

- carico verticale quasi statico, derivante dal carico assiale in transito: visti l'entità dei carichi verticali quasi statici agenti, il supporto di ago e contrago e l'assenza di vincoli cinematici rigidi, questo tipo di sollecitazione non agisce sui fermascambi in oggetto;
- carico verticale dinamico, derivante dalle microirregolarità superficiali di ruote e rotaie (poligonazione, marezzatura): le vibrazioni verticali dell'ago non vengono avvertite dai due tipi di fermascambio in oggetto, mentre la validità delle soluzioni costruttive viene analizzata più sotto con riferimento ai carichi d'urto;
- carico orizzontale quasi statico, derivante dalla conicità del contatto ruota-rotaia: il meccanismo di fermascambiatura non deve assorbire carichi quasi statici di alcuna natura, e si ritengono trascurabili anche gli sforzi di *ripage* (ove possibile si cerca peraltro di costruire i deviatori in rettilineo);

- carico orizzontale dinamico, derivante dalle microirregolarità superficiali di ruote e rotaie. La flessibilità laterale complessiva, nel caso di forza disposta lungo un qualsiasi punto dell'ago, è data dalla combinazione delle flessibilità dell'ago e del meccanismo di fermascambiatura. Sebbene non sia possibile, in mancanza di riscontri sperimentali oggettivi, definire il livello di sollecitazioni agenti sul fermascambio al transito dei treni, è comunque possibile effettuare una valutazione della rigidità complessiva al verificarsi di una coppia di forze che agisca nel senso di separare ago e contrago. Nella realtà tale sollecitazione non esiste (in ogni caso il tallonamento inizia con l'ago discosto ed è poi il cinematismo interno alla cassa che trascina l'ago accosto) ma questa ipotesi è decisamente la più gravosa e quella che garantisce contro lo spostamento indebito dell'ago. L'analisi della rigidità del fermascambio è oggetto del paragrafo 4;
- carichi termici: ambedue i fermascambi in oggetto sono collegati all'ago con un perno cilindrico che consente i necessari spostamenti senza caricare alcun organo interno del fermascambio; non vi sono da attendersi differenze di alcun tipo fra i due fermascambi;
- urti verticali, derivanti dalle macroirregolarità di ruote e rotaie (sfaccettature, giunti), urti orizzontali, derivanti dai moti parassiti (dinamica del veicolo, serpeggio) ed eventi eccezionali (urti con oggetti pendenti, inondazioni, terremoti, ...): vedi sotto.

### 3.2. Urti verticali

Il caso dei carichi d'urto è limitato alla presenza di ruote con sfaccettature. Come è noto dalla letteratura [4,5], i carichi d'urto derivanti dalle sfaccettature sono derivanti dalla "risalita" della rotaia che va ad urtare la ruota ove manchi il materiale. La presenza di masse aggiuntive collegate alla rotaia, mentre porta a conseguente quasi statiche praticamente nulle viste le basse frequenze in gioco, può aumentare anche notevolmente l'impedenza della rotaia, riducendo la risposta dinamica sotto carichi d'urto.

Nel considerare il confronto fra i due fermascambi, si è valutato, con considerazioni cautelative omesse per brevità, che la forza verticale derivante dall'urto non cambiasse in funzione della massa vincolata alla rotaia e che i vari collegamenti fra la rotaia ed i dispositivi di fermascambiatura fossero infinitamente rigidi. Con tali ipotesi gli organi interni sono soggetti alle medesime azioni inerziali e, pertanto devono sopportare i medesimi carichi dinamici. La sostanziale equivalenza delle dimensioni, con notevoli eccezioni a favore della cassa innovativa, garantisce la pratica equivalenza delle prestazioni fra i due tipi di fermascambio.

Occorre ricordare inoltre come il collegamento diretto di organi di sicurezza a zone ad elevata vibrazione possa portare a cedimenti improvvisi per fatica e frattura; in particolare si ravvisano nel fermascambio convenzionale la criticità della fusione della cassa, la posizione dei contatti elettrici di controllo collegati in maniera pressoché rigida alla rotaia, le ridotte dimensioni di organi critici quali quelli relativi al meccanismo di puntata.

### 3.3 Urti orizzontali

Gli urti orizzontali sono tipici del trasporto ferroviario per interazione ruota-rotaia nella zona del bordino e, nei casi più gravi, portano alla nascita di gravi problemi di dinamica laterale del veicolo (serpeggio).

Nell'ipotesi che il deviatoio non presenti nella zona della punta sostanziali variazioni rispetto alle caratteristiche geometriche ed inerziali della piena linea, la presenza di moti parassiti può essere dovuta a un moto di serpeggio già prima che il convoglio impegni il deviatoio o al transito sul cuore per i convogli che, evidentemente, percorrono il deviatoio di calcio in corretto tracciato.

Per quanto concerne il fermascambio, non si è, ancora una volta, in grado di assumere ipotesi di lavoro in assenza di riscontri sperimentali. Gli urti possono provocare moti di ampiezza di gran lunga superiore alle vibrazioni (effetto "frustata") negli aghi che sono lunghi e snelli; peraltro l'ago è trasversalmente supportato dalla cerniera (articolata o elastica che sia) da un lato e, per l'appunto, dal solo fermascambio dall'altro nel caso di manovra a punto singolo.

Anche in questo caso, quindi, si è stati costretti a ripetere le considerazioni esposte al punto precedente per quanto riguarda la valutazione delle cedevolezze trasversali, per la quale si rimanda al paragrafo 4.

Per quanto riguarda i carichi inerziali derivanti dagli urti laterali, occorre effettuare una distinzione fra il fermascambio convenzionale e quello innovativo. Il primo, infatti, è collegato direttamente ad ago e a contrago e, in quanto tale, subisce le accelerazioni combinate, in modulo e fase, dei due organi (essendo le vibrazioni di tipo casuale, le accelerazioni possono elidersi o sommarsi). Il secondo, viceversa, risente direttamente solo delle accelerazioni dell'ago; il contrago, essendo fissato solidalmente alla traversa, trasmette accelerazioni ridotte in virtù della notevole forza d'inerzia derivante dalla massa complessiva della traversa. Si conclude quindi che, essendo in pratica soggetto solo ai carichi derivanti dall'ago, il fermascambio innovativo è meno sollecitato rispetto al fermascambio convenzionale.

### **3.4 Carichi eccezionali**

Numerosi possono essere i casi di carico eccezionale agente sul fermascambio. Alcuni di questi sono tali da richiedere la sostituzione o, quanto meno, la completa revisione del fermascambio; fra questi si possono citare: svio di un convoglio sul deviatoio con conseguente distruzione della manovra del deviatoio stesso, allagamenti o inondazioni, qualunque altro evento altamente improbabile e che, comunque, richiede almeno un'ispezione dopo che si è verificato.

Fra i carichi eccezionali possono presentarsi dei casi nei quali non si ha la rottura catastrofica della cassa di manovra o del fermascambio ma, eventualmente, una deformazione od un insieme di deformazioni plastiche tali da non interrompere la continuità meccanica del meccanismo ma da portare a condizioni errate. Ad esempio, la deformazione dei tiranti di manovra o di controllo può consentire di ottenere il controllo anche se gli aghi non sono nella corretta posizione. E' facile comprendere come una tale evenienza possa portare allo svio di un convoglio con le immaginabili conseguenze.

L'effettuazione di calcoli previsionali quantitativi è, per eventi di questo tipo, pressoché impossibile. Ciò che è possibile effettuare è la valutazione del comportamento dei due fermascambi in oggetto sotto il più probabile tipo di carico eccezionale, ossia l'urto con organi o carichi pendenti al di sotto del materiale rotabile in transito.

La cassa innovativa presenta, in questo caso, una notevole superiorità. Tutti gli organi meccanici inerenti la sicurezza, cioè il gruppo di manovra e controllo aghi, sono contenuti in una fusione di spessori particolarmente generosi che è, sua volta, pressoché completamente annegata nella traversa metallica di sostegno (fig. 1). Il tirante di manovra e di controllo ha dimensioni notevolissime e rimane completamente annegato dentro la traversa.

Diversamente dal gruppo fermascambiatura esterna, che supera in altezza il piano neutro orizzontale della rotaia ed ha una tiranteria di comando analoga per dimensioni e funzionalità alle casse tradizionali, la particolare disposizione costruttiva della cassa innovativa la rende praticamente invulnerabile a carichi d'urto medi con velocità d'urto medio-alte. E' infatti estremamente improbabile, se non impossibile, che un carico cada con velocità pressoché

verticale all'interno della traversa andando a compromettere la funzionalità degli organi di sicurezza. Peraltro è possibile utilizzare semplici protezioni senza alcuna funzionalità strutturale se non quella di evitare l'urto con i corpi pendenti.

La realizzazione della traversa in acciaio con elevate caratteristiche meccaniche e della cassa in ghisa sferoidale consente di ottenere resistenze all'urto notevoli senza compromettere la funzionalità e l'operatività del gruppo fermascambiatura innovativo.

#### 4. ANALISI COMPARATA DELLE RIGIDENZE DEI DUE FERMASCAMBI

##### 4.1 Introduzione

Non si entra nel dettaglio della procedura eseguita per la valutazione ed il confronto delle rigidità dei due fermascambi in oggetto; semplicemente si accenna che è stato messo a punto un modello 3D particolareggiato che è servito da input per una valutazione FEM. Al fine di snellire i calcoli si è operata un'analisi preventiva delle sollecitazioni applicate ai due sistemi per individuare i componenti che effettivamente influiscono sulle cedevolezze e quindi limitare l'analisi strutturale solo a tali parti.

Benché il calcolo venga effettuato nel dominio lineare elastico, si è preferito utilizzare un valore diverso da quello unitario per la forza applicata in quanto le tensioni e le deformazioni raggiunte per una forza più alta (5 kN) e più verosimile sono più facilmente interpretabili e confrontabili.

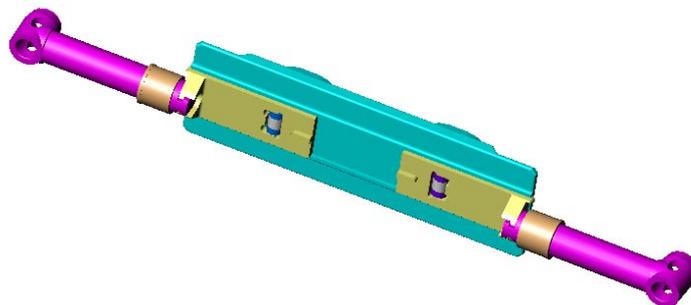


Figura 3 Vista dal basso del modello 3D dell'insieme dei particolari utilizzati per eseguire l'analisi FEM del fermascambio innovativo.

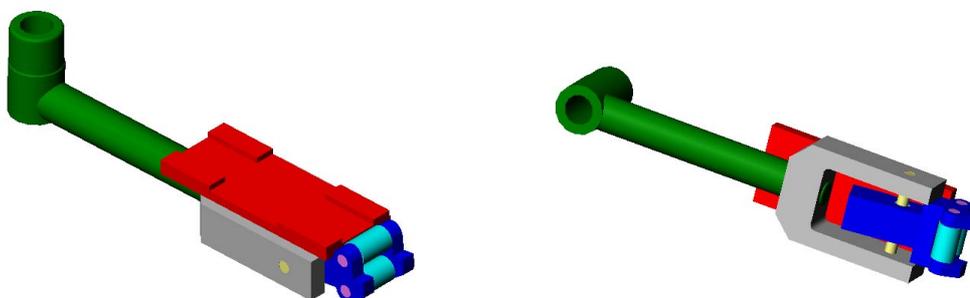


Figura 4 Due viste del modello solido dell'insieme dei particolari utilizzati per eseguire l'analisi FEM del fermascambio esterno.

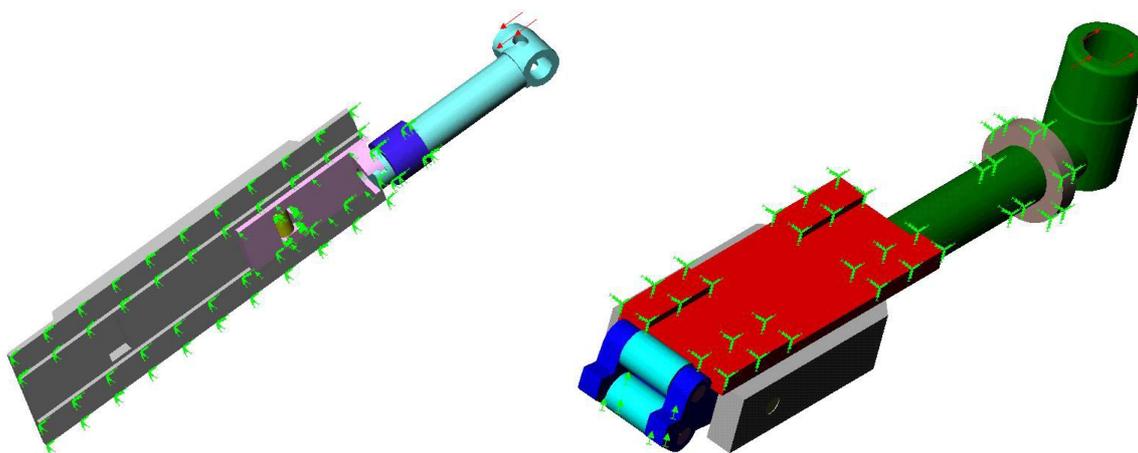


Figura 5 Vincoli (freccie in verde) e sollecitazione (freccie in rosso) applicate al modello della cassa innovativa (a sinistra) e del fermascambio esterno (a destra).

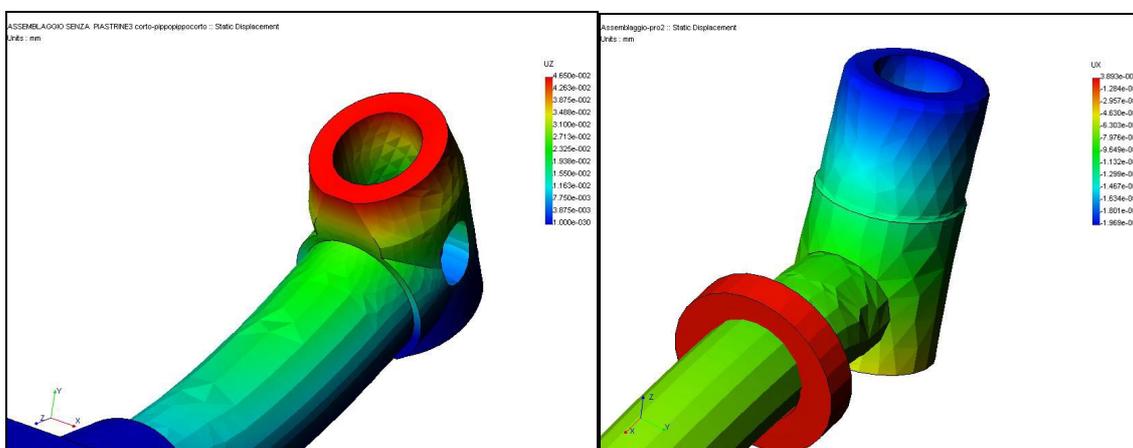


Figura 6 Spostamenti in direzione trasversale sul tirante dell'ago accosto per la cassa innovativa (a sinistra) e per il fermascambio esterno (a destra).

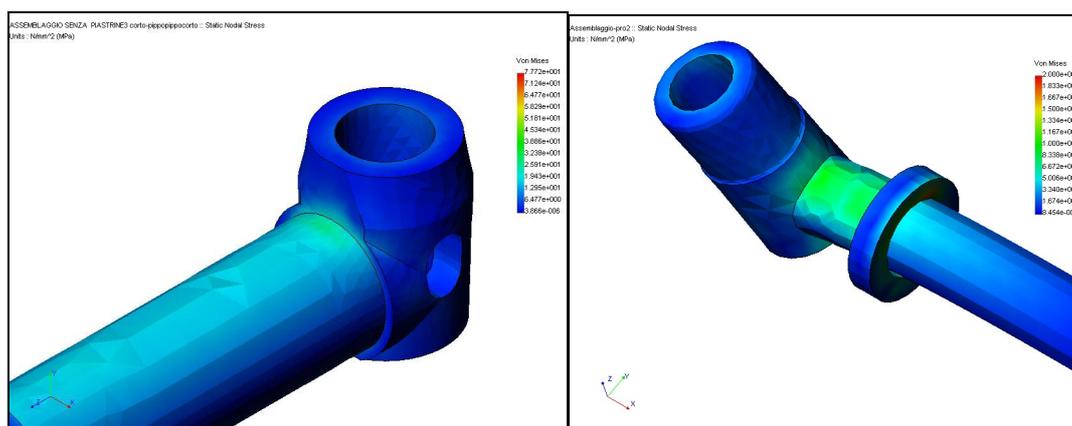


Figura 7 Tensioni sul tirante dell'ago accosto per la cassa innovativa (a sinistra) e per il fermascambio esterno (a destra).

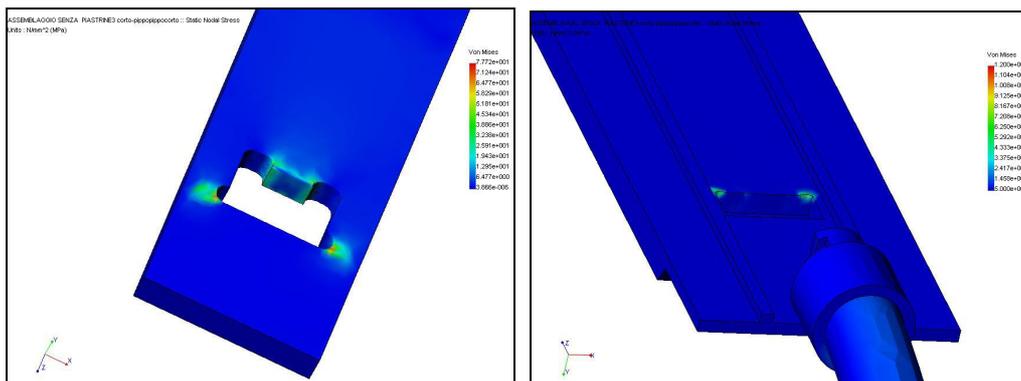


Figura 8 Tensione sul vano del corsoio alloggiante il rullino (a sinistra) e tensioni sul vano di alloggiamento del rullino nel coperchio della cassa innovativa (a destra).

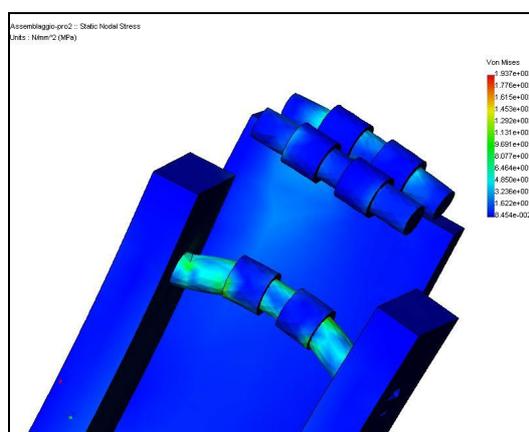


Figura 9 Tensioni sul perno di collegamento tra organo di aggancio e corsoio di fermo del fermascambio esterno.

Gli spostamenti trasversali massimi (fig. 7) sul tirante del fermascambio esterno risultano circa quattro volte maggiori di quelli sul tirante della cassa innovativa (0.196 mm contro 0.046 mm). Per quanto concerne le tensioni equivalenti di Von Mises (fig. 8) i valori massimi nei tiranti raggiungono circa 27 MPa per la cassa innovativa in un campo globalmente in compressione e circa 100 MPa per il fermascambio esterno in un campo globalmente in trazione. I valori massimi delle tensioni non si riscontrano sul tirante per nessuno dei due fermascambi. Esso non è quindi l'elemento critico per nessuna delle due soluzioni.

Per la cassa innovativa, i punti dove si rilevano le tensioni equivalenti massime si trovano in prossimità delle zone di contatto tra i rullini e il corsoio e i rullini ed il coperchio (figura 8). Come era lecito attendersi dalla teoria del contatto Hertziano, il massimo non si riscontra sulla superficie di contatto dei rulli ma appena al di sotto; qui si hanno valori di circa 50 MPa. Altro punto sul corsoio dove si riscontrano valori elevati di tensione è nel vano alloggiante il rullino dove si hanno due incavi. Tale situazione è riconducibile al fatto che mentre il rullino tende a tenere fisso il corsoio, la forza tende a “chiudere” il foro e in presenza di tali discontinuità di forma si generano delle tensioni. Il valore massimo delle tensioni riscontrabile sul fermascambio innovativo è localizzato in tale zona ed è quantificabile in 75 MPa circa. Valori di circa 40 MPa si raggiungono anche negli spigoli del vano d'alloggiamento del rullino sulla cassa superiore come si può osservare in figura 8.

Per il fermascambio esterno la tensione equivalente massima si riscontra sul perno di collegamento tra corsoio di fermo e organo di aggancio. Per le sue dimensioni e per la sua funzione tale elemento è soggetto ad una notevole tensione che risulta massima nella zona di contatto con le boccole di Ertalyte, raggiungendo valori di 145 MPa (figura 9) in un campo globalmente in trazione. Elevati valori delle tensioni (50 MPa) si hanno inoltre sul perno di sostegno del rullino superiore mentre nella zona di contatto tra tale rullino e la piastra superiore non si rilevano valori significativamente alti.

## 5. CONCLUSIONI

Dall'analisi comparata con fermascambi esterni esistenti si può concludere che la cassa di manovra innovativa ha caratteristiche che, per quanto riguarda il fermascambio, la rendono idonea all'impiego in deviatori percorsi durante l'esercizio a velocità di 300 km/h in corretto tracciato.

Altre considerazioni non strettamente inerenti il presente lavoro (costruzione modulare, compattezza, protezione degli organi chiave, semplicità di manutenzione, etc.) rendono la cassa di manovra innovativa un meccanismo globalmente migliore del fermascambio esterno non solamente sotto il profilo della sicurezza. La superiorità si evidenzia soprattutto nel diverso comportamento a carichi anomali ed a parziale tallonamento, in virtù del notevole sovradimensionamento e, soprattutto, della logica con la quale le funzioni tipiche di una cassa di manovra sono state implementate nella cassa innovativa.

Queste considerazioni puramente funzionali sono state confermate dal calcolo strutturale mostrato al paragrafo 4. La cassa innovativa ha tensioni massime nel meccanismo di fermascambiatura notevolmente inferiori a quelle presenti nel fermascambio esterno; inoltre i punti con tensioni equivalenti massime non riguardano per la cassa innovativa organi critici per la sicurezza ed interessano, peraltro, organi di notevoli dimensioni con altrettanto notevole riserva di plasticità. Il fermascambio esterno, viceversa, mostra tensioni equivalenti massime elevate in organi di ridotte dimensioni globali, risultando assai più critico nei confronti della sicurezza.

Si comprende quindi come, dal presente lavoro scaturisca il concetto che le dizioni "fermascambiatura esterna" e "fermascambiatura interna" perdono qualunque significato; più propriamente converrà d'ora in poi parlare di "fermascambiatura idonea" o di "fermascambiatura non idonea" ai fini del passaggio in corretto tracciato a 300 km/h. La cassa di manovra innovativa, per quanto sopra detto, risulta perfettamente idonea allo scopo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Bracciali, M. Biagiotti: "A Method for Measuring the Dynamic Behaviour of the Rome-Florence High-Speed Track Switch Manoeuvring System", *Journal of Rail and Rapid Transit* 206, 1992, 107-116.
- [2] Ferrovie dello Stato, SASIB Segnalamento Ferroviario: "Notizia Tecnica N° A. 0088 – Sistema elettromeccanico a fermascambiatura esterna 1992", ed. 1994, cod. identificazione DEV.03.1
- [3] M. Pagliari, Sistemi Oleodinamici di Manovra per Deviatori (SO)", *La Tecnica Professionale*, Ed. CIFI, 11/2001, 55-59.
- [4] A. Bracciali, G. Cascini: "Le sfaccettature delle ruote ferroviarie. Parte 1 - Introduzione", *Ingegneria Ferroviaria* 7, 2000, 439-446.
- [5] I.L. Vér, C.S. Ventres, M.M. Myles, "Wheel/rail noise-Part III: Impact noise generation by wheel and rail discontinuities", *Journal of Sound and Vibration* 46(3) 1976, 395-417.