

**Ing. Gianvito Lionetti - GE Transportation Systems S.p.A.**

**Prof. Andrea Bracciali – Dip. di Meccanica Università di Firenze**

## **1) Introduzione**

Nella presente memoria descriviamo brevemente le considerazioni che hanno portato GE Transportation Systems a sviluppare il progetto della cassa di manovra elettrica in traversa denominata CTS2 e una più approfondita analisi delle problematiche legate alla sicurezza svolta in colla borazione con l'Università di Firenze.

## **2) I requisiti dell'applicazione**

In tutte le moderne reti ferroviarie assistiamo ad un incremento della velocità di percorrenza come risposta sia a quanto chiesto dall'utenza sia a quanto offerto da sistemi di trasporto stradali od aerei. Ciò ha portato ad un adeguamento degli armamenti in uso con una maggiore diffusione dell'armamento UIC 60 ed un più ampio utilizzo di casse di manovra per scambi con fermascambiatura esterna. Si è inoltre cominciato a dare sempre maggiore importanza al fattore manutentivo visto come elemento di costo nel ciclo di vita del prodotto con una crescente richiesta di apparecchiature esenti da manutenzione o con interventi programmati; nei prodotti più recenti si è sostituita la frizione della cassa con elementi equivalenti per funzione ma privi di manutenzione e con una vita operativa pari o superiore a quella della cassa stessa.

Questo quadro si inserisce in una realtà dove la cassa di manovra, seppur adeguata alle esigenze operative, resta un elemento aggiuntivo del deviatoio e non ne fa parte integrante eccezion fatta per gli ultimi prodotti dedicati all'alta velocità.

Infatti nella maggior parte dei casi si hanno casse di manovra con posa esterna al binario, collegate agli aghi tramite tiranti che pongono sempre problemi di registrazione, che rendono instabile la punta dello scambio per carenza di pietrisco tra le traverse ed impediscono il ricalzo automatico di tutto il deviatoio. Naturalmente la situazione peggiora in caso di casse di manovra con tiranterie rimandate in più punti sia per la necessità di registrazione della corsa sia per la stabilità delle traverse.

Per fare un passo avanti ed incrementare la sicurezza operativa e per ridurre i costi di gestione si rende necessario lo sviluppo di un prodotto che si integri più intimamente con lo scambio da movimentare diventando un elemento del "sistema scambio".

Ferme restando le funzioni richieste ad una cassa di manovra, riteniamo che una manovra elettrica di concezione moderna deve rispondere ad alcuni requisiti fondamentali:

- a) sicurezza
- b) semplicità di costruzione
- c) minima manutenzione e comunque programmabile
- d) flessibilità e largo spettro di applicazioni su tutti i tipi di armamento
- e) completa integrazione con lo scambio
- f) costo complessivo di installazione inferiore a quello dei prodotti tradizionali che va a sostituire.

Questi obiettivi, che contribuiscono a determinare una diminuzione del "life cycle cost" dell'impianto, sono ottenibili con una nuova generazione di casse di manovra elettriche che possiamo denominare "casse traversina".

La particolarità più vistosa è quella dell'alloggiamento di tutti i componenti della cassa quali la parte di manovra, di controllo, la fermascambiatura e le interfacce per gli accessori come la manovra a mano od il dischetto indicatore all'interno di una speciale traversa metallica, nella quale il meccanismo si presenta modulare con possibilità di offrire le caratteristiche più appropriate per la tipologia di armamento e di applicazione su cui viene impiegato.

La disposizione e la modularità costruttiva degli elementi della "cassa traversina" possono essere molteplici, ma a nostro avviso riteniamo che si debbano essenzialmente dividere in due gruppi:

- uno che realizza la fermascambiatura, il controllo elettrico e garantisce anche la funzione di tallonabilità, posto all'interno dell'interbinario. Questo elemento realizza la fermascambiatura di tipo esterno permettendo la percorrenza dello scambio a velocità superiori a quanto possibile con il rimando alla cassa di manovra tramite tiranterie. Il sistema di tallonabilità completa la sicurezza del modulo e garantisce, una volta manovrato lo scambio, che tutte le funzioni e garanzie di percorrenza sono assicurate.
- uno posto all'esterno dell'interbinario che esegue l'azionamento e porta le interfacce verso gli accessori più sopra citati. Si svincolano in tal modo le funzioni di sicurezza da quelle di movimentazione rendendo possibile una serie di combinazioni funzionali fino ad oggi non realizzate.

Il progetto sarebbe ulteriormente avvantaggiato da una soluzione oleodinamica del sistema di attuazione, mentre per la parte situata nell'interbinario, è da privilegiare uno schema completamente meccanico che, oltre al costo contenuto, meglio si addice alle necessarie caratteristiche di affidabilità e sicurezza.

Il sistema così concepito contiene anche alcune parti che tradizionalmente sono legate all'armamento come i cuscinetti ed i tiranti, mantenendo peraltro l'intercambiabilità dei singoli gruppi senza togliere la traversa di opera.

Lo schema base ben si presta ad accettare una ampia gamma di applicazioni variando solamente alcuni componenti, come ad esempio le molle di tallonamento od il gruppo motore pompa nel caso di azionamento oleodinamico, permettendo una alta percentuale di parti comuni tra sistemi destinati a diverse applicazioni.

Ciò comporta una riduzione dei costi di produzione, una migliore gestione delle scorte e permette una modalità manutentiva ed una gestione operativa standardizzata tale da ridurre i costi di gestione.

La sicurezza della "cassa traversina" risulta incrementata rispetto ai sistemi tradizionali per due fattori che incidono ulteriormente sull'abbattimento dei costi di gestione:

- la fermascambiatura che, non più demandata alle tiranterie ed alla loro elasticità, permette, come già accennato, una più alta velocità di percorrenza dello scambio
- il ricalzo che grazie all'assenza di tiranterie tra le traverse è sicuramente migliore di quanto sia possibile fare adesso e può essere fatto in modo automatico assicurando un contenimento dello scambio per un tempo più lungo.

Inoltre la struttura raccolta e protetta dell'impianto tutela i componenti da azioni di interferenza provenienti dall'esterno.

Le ragioni sin qui esposte ci sembrano sufficienti ad indicare che un prodotto come la "cassa traversina" offre una serie di vantaggi diretti ed indiretti ed implica, tenuto conto di tutte le

funzioni svolte, un costo di acquisto superiore alla semplice cassa di manovra attualmente impiegata ma un costo globale ed un "life cycle cost" del sistema cassa-scambio notevolmente ridotto.

### **3) Analisi delle problematiche funzionali e di sicurezza**

Delle tre fasi di azionamento da parte di una cassa di manovra (movimentazione, assicurazione e controllo). l'assicurazione è certamente fondamentale. Essa consiste in una serie di dispositivi meccanici atti ad evitare che l'ago si muova rispetto al contrago; a tali dispositivi meccanici si dà il nome di "fermascambio". Storicamente le tre funzioni 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 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 deviatoi da percorrere a velocità di oltre 100 km/h sul ramo deviato. In questi deviatoi 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 contrago in corretto tracciato alla velocità della piena linea.

Non è qui il caso di entrare nel dettaglio dei sistemi che sono stati via via utilizzati nei deviatoi per velocità alta ( $> 180$  km/h) o convenzionale ( $\leq 180$  km/h); basti dire che i tradizionali sistemi a fermascambiatura interna (dei quali il tipo più recente è rappresentato dalla cassa di manovra tipo P80) vengono utilizzati per velocità convenzionali, mentre per le linee ad alta velocità vengono utilizzati i sistemi P75 per i deviatoi da percorrere in deviata a 100 km/h ed il sistema P92/SE92 a fermascambiatura esterna per i deviatoi da percorrere in deviata a più bassa velocità. L'utilizzo di sistemi oleodinamici (SO) di vario tipo con più punti di azionamento e fermascambiatura esterna è stato in seguito introdotto ed utilizzato sia per velocità in deviata superiori a 100 km/h che in sostituzione dei sistemi P75 che presentano notevoli limitazioni in termini di manutenibilità ed affidabilità [1].

La cassa di manovra CTS2, descritta nella presente memoria, ha indubbi vantaggi rispetto ad una qualunque cassa di manovra tradizionale in termini di manutenzione e di TLCC. Ovviamente, occorre verificare la sicurezza del meccanismo di fermascambiatura per l'utilizzo alle più alte velocità; a tale scopo la GETS ha commissionato al Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali dell'Università (DMTI) degli Studi di Firenze l'analisi di tale meccanismo.

#### **3.1. Confronto dei meccanismi di fermascambiatura**

Spesso risulta più veloce e diretto procedere ad un'analisi comparativa di prodotti facenti la medesima funzione piuttosto che procedere ad un calcolo ex-novo di un'apparecchiatura. Dato che i carichi in ingresso non erano noti né sotto forma di carichi statici né sotto forma di Power Spectral Densities. Il DMTI ha deciso di confrontare la CTS2 con meccanismi esistenti, quali la SE92, che già rispondono alle condizioni funzionali e di sicurezza richieste da RFI.

Dopo aver verificato la validità della funzionalità della fermascambiatrice CTS2 è stata pertanto condotta un'analisi comparata della sicurezza dei due meccanismi. Le considerazioni riportate nel seguito sono desunte da [2].

Lo schema della fermascambiatrice SE92 riportato in fig. 1, desunto da [3], mostra come la cassa che contiene il fermascambio è incernierata ad una zampa collegata direttamente al contrago mediante un perno, visibile in fig. 1 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 CTS2 (figura 2), la fermascambiatrice 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 SE92. 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.

Si comprende quindi come, dal presente lavoro scaturisca il concetto che le dizioni "fermascambiatrice esterna" e "fermascambiatrice interna" perdano qualunque significato; più propriamente si parlerà di "fermascambiatrice idonea" o di "fermascambiatrice non idonea" ai fini del passaggio in corretto tracciato a 300 km/h.

### **3.2. Sollecitazioni agenti sui deviatori e sui fermascambi**

Nel corso del lavoro sono stati analizzati esclusivamente i casi di carico inerenti alla valutazione dell'idoneità della CTS2 a consentire il transito in corretto tracciato a velocità superiori a 180 km/h. I tallonamenti, e, in senso lato, tutti quei carichi "eccezionali" che possono portare alla necessità di completa sostituzione di interi organi delle varie tipologie di casse di manovra non sono stati presi in considerazione.

Sono state analizzate i principali casi di carico e le conseguenti sollecitazioni agenti su aghi e contraghi. Si è dimostrato che il carico verticale quasi statico (derivante dal carico assiale in transito), il carico verticale dinamico (derivante dalle microirregolarità superficiali di ruote e rotaie), il carico orizzontale quasi statico (derivante dalla conicità del contatto ruota-rotaia) ed i carichi termici non portano a sostanziali differenze fra SE92 e CTS2.

In caso di ruote con sfaccettature [4, 5], i carichi d'urto verticali sono derivanti dalla "risalita" della rotaia che va ad urtare la ruota ove manchi il materiale. La presenza di masse aggiuntive collegate alla rotaia aumenta notevolmente l'impedenza della rotaia, riducendo la risposta dinamica sotto carichi d'urto. Dietro opportune ipotesi si è dimostrata la pratica equivalenza delle prestazioni fra i due tipi di fermascambio.

Nel caso dei carichi orizzontali dinamici, derivanti dalle microirregolarità superficiali di ruote e rotaie, occorre valutare la rigidità laterale complessiva, introducendo una coppia di forze fittizie che agisca nel senso di separare ago e conrago, anche se nella realtà tale sollecitazione non esiste.

Nel caso degli urti orizzontali dovuti al serpeggio del veicolo, non si sono, ancora una volta, potute 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. Ci si è pertanto, limitato a verificare come le rigidità offerte dalla CTS2 siano superiori rispetto a quelle della SE92. Per quanto concerne i carichi orizzontali inerziali, si è potuto concludere come il fermascambio CTS2 risulti meno sollecitato rispetto al fermascambio SE92.

Sono stati analizzati pressoché tutti i tipi di carichi eccezionali; nel più probabile di essi, ossia l'urto con organi o carichi pendenti al di sotto del materiale rotabile in transito, la CTS2 presenta una notevole superiorità, essendo tutti gli organi meccanici inerenti la sicurezza contenuti in una fusione di spessori particolarmente generosi che è, sua volta, pressoché completamente annegata nella traversa metallica di sostegno; il tirante di manovra e di controllo ha dimensioni notevolissime e rimane completamente annegato dentro la traversa.

Diversamente dalla SE92, la particolare disposizione costruttiva e l'uso di materiali ad elevata resilienza e plasticità rende la CTS2 praticamente invulnerabile a carichi d'urto medi con velocità d'urto medio-alte e l'eventuale uso di protezioni specifiche è particolarmente semplice.

Anche l'urto del tirante di manovra dell'ago discosto è pressoché impossibile (l'ago è molto robusto e completamente rientrato all'interno della cassa); al più, l'urto determina una modalità di guasto che porta all'automatico bloccaggio del meccanismo prevenendo qualsiasi possibilità di movimento.

E' fondamentale osservare che il meccanismo di fermascambiatura CTS2 impedisce gli scorrimenti in caso di non perfetto allineamento di un tirante (bloccaggio o resistenza eccessiva); in tal caso non è possibile muovere neanche l'altro tirante in quanto esiste un dispositivo che impedisce che gli aghi si possano trovare in condizioni anomale, ossia ambedue accosti o discosti. Il 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 pertanto impossibile.

Altra questione fondamentale riguarda la separazione fra tirante di manovra e tirante di controllo, normalmente utilizzata nelle casse a fermascambiatura interna (P80), ed il concetto opposto 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 (SE92).

Nel caso della CTS2, 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 SE92 nella quale la presenza di più giunti diminuisce l'affidabilità e la sicurezza.

Per quanto riguarda infine la stabilizzazione, nella CTS2 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 non porta a conseguenze negative per la sicurezza in quanto le funzioni di tallonabilità ed intallonabilità vengono mantenute inalterate e dato che la stabilizzazione resta sempre inserita anche durante il recupero del parziale tallonamento tramite un apposito meccanismo.

### **3.3. Analisi strutturale dei fermascambi SE92 e CTS2**

Non si entra nel dettaglio della procedura eseguita per la valutazione della rigidità dei fermascambi SE92 e CTS2; 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.

E' risultato che gli spostamenti sul tirante della SE92 sono circa quattro volte maggiori di quelli sul tirante della CTS2, mentre per quanto concerne le tensioni equivalenti di Von Mises i valori massimi nei tiranti sono circa un quarto per la CTS2 in un campo globalmente in compressione rispetto a quelli della SE92 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 CTS2 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. 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 (circa 50 Mpa); un altro punto sul corsoio nel quale si riscontrano valori elevati di tensione è nel vano alloggiante il rullino in quanto 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 (circa 75 MPa, massimo valore sulla CTS2).

Per la SE92 la tensione equivalente massima si riscontra sul perno di collegamento tra corsoio di fermo e organo di aggancio, segnatamente nella zona di contatto con le boccole di Ertalyte, raggiungendo valori di 145 MPa in un campo globalmente in trazione.

Quale esempio di campi di tensione, si riportano nelle figure 3 e 4 l'andamento delle tensioni nel tirante della CTS2 e sul perno di collegamento corsoio/organo di aggancio sulla SE92.

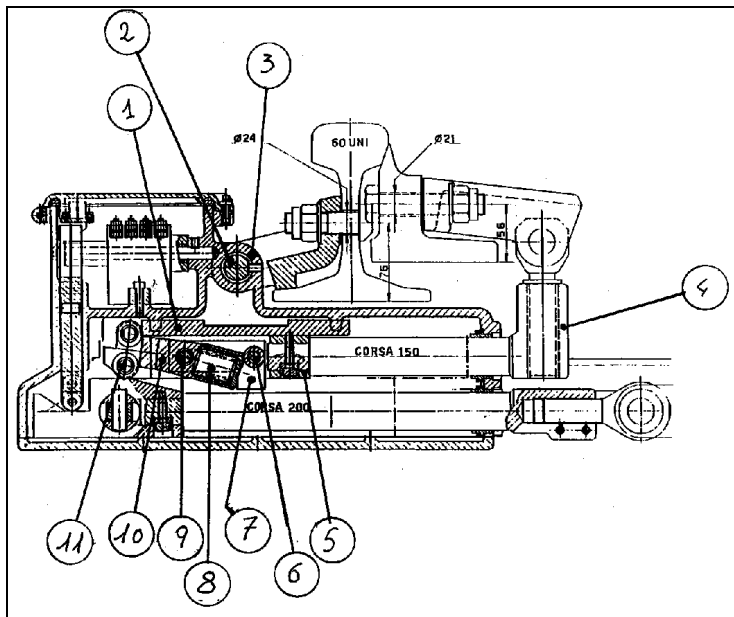


Figura 1 Schema della fermascambiatore SE92 [3] con indicazione dei particolari considerati ai fini del calcolo strutturale

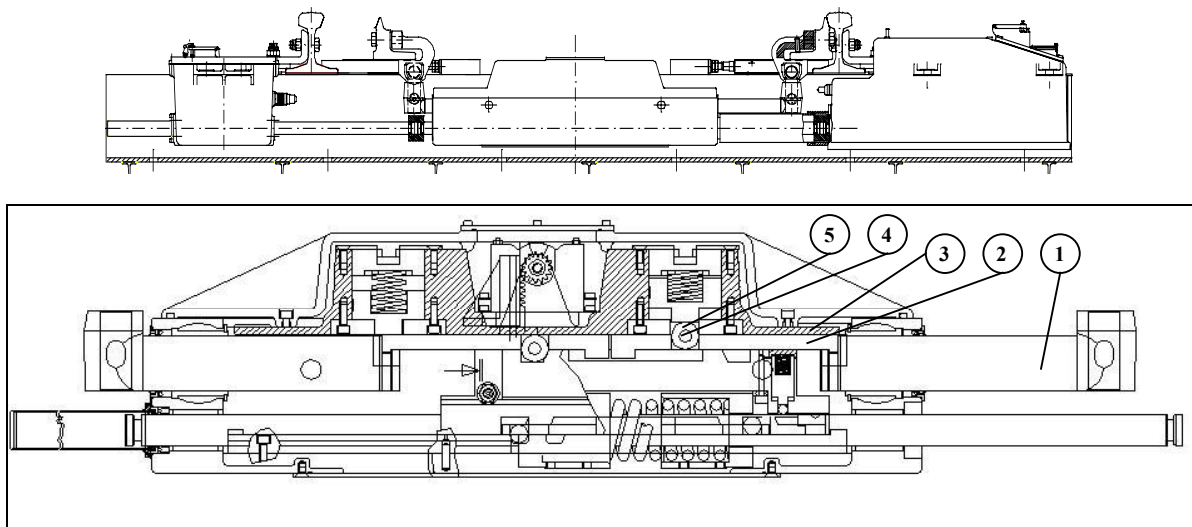


Figura 2 Insieme della cassa di manovra in traversa CTS2 (in alto) e schema della fermascambiatore interna alla cassa con indicazione dei particolari considerati ai fini del calcolo strutturale (in basso).

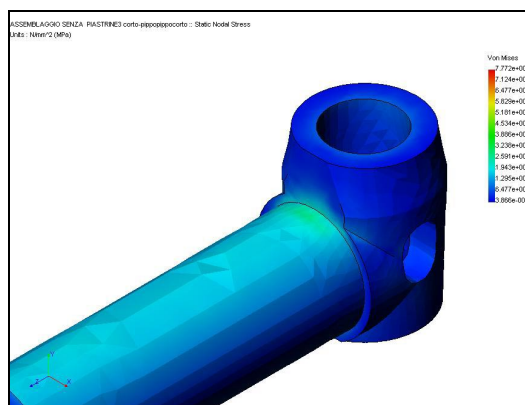


Figura 3 Tensioni sul tirante dell'ago accosto per la CTS2 (in alto) e per la SE92 (in basso)

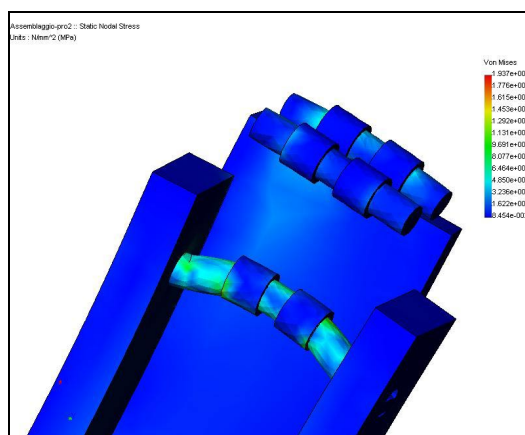


Figura 4 Tensioni sul perno di collegamento tra organo di aggancio e corsoio di fermo della SE92.

#### 4) La CTS2 nel mercato globale oggi

Le applicazioni del Sistema CTS2 ad oggi sono:

- fornitura di un prototipo per la qualificazione del prodotto a RFI





- fornitura di 362 sistemi per varie amministrazioni ferroviarie USA



- fornitura di 15 sistemi per la metropolitana di Oslo



- fornitura di tre prototipi per l'omologazione del prodotto a RFI



## Bibliografia

- [1] M. Pagliari, Sistemi Oleodinamici di Manovra per Deviatori (SO)”, Tecnica Professionale, 11/2001, 55-59.
- [2] A. Bracciali: “Analisi Funzionale e di Sicurezza del Dispositivo di Fermascambiatrice della Cassa di Manovra CTS2”, relazione tecnica per General Electric Transportation System SpA, Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali 2001 (confidenziale)
- [3] Ferrovie dello Stato, SASIB Segnalamento Ferroviario: “Notizia Tecnica N° A. 0088 – Sistema elettromeccanico a fermascambiatrice esterna 1992”, ed. 1994, cod. identificazione DEV.03.1
- [4] A. Bracciali, G. Cascini: “Le sfaccettature delle ruote ferroviarie. Parte 1 - Introduzione”, Ingegneria Ferroviaria 7, 2000, 439-446.
- [5] A. Bracciali, G. Cascini, M. Pieralli: “Le sfaccettature delle ruote ferroviarie. Parte 2 - Sviluppo di un rilevatore”, Ingegneria Ferroviaria 8, 2000, 511-520.