



**Politecnico  
di Torino**

## **Politecnico di Torino**

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica  
A.A. 2020/2021

Sessione di Laurea ottobre 2021

### **Validazione di banchi di prova per test di fatica di freni a tamburo con attuatore elettrico (EPB-Si) e analisi di parametri e fattori esterni influenti**

Relatore:

Prof. Ing. Enrico Galvagno

Correlatore:

Dott. Ing. Marco Monopoli

Azienda ospitante:

Continental Brakes Italy S.p.a.

Candidato:

Tarik Chahmi

Matr. 275548



# Ringraziamenti

In tutto il mio percorso formativo ho incontrato persone che mi hanno aiutato e dato qualcosa al mio bagaglio culturale. Sono stato molto fortunato sin dall'inizio: a partire dalle elementari sino alla stesura di questa tesi, ho incontrato tante persone oneste e gentili che mi hanno sostenuto nei momenti difficili, facendo in modo che tirassi fuori il meglio di me.

Ringrazio il mio tutor accademico, l'Ing. Galvagno Enrico, per i suoi consigli durante il tirocinio e per l'aiuto nella realizzazione di questa tesi sperimentale.

Vorrei inoltre ringraziare l'Ing. Marco Monopoli per avermi dato l'opportunità di fare quest'esperienza molto formativa all'interno del mondo del lavoro. Mi ha insegnato molto e ha seguito sempre con interesse aiutandomi allo sviluppo di questo progetto di tirocinio e tesi.

Un grazie di cuore va a tutti quelli con cui ho lavorato all'interno del reparto della Sperimentazione e di Prototipi. Un gruppo di persone fantastico che mi accolto in un ambiente di lavoro armonioso e mi ha sostenuto in tutte le mie attività in azienda: in particolare sarò grato agli amichevoli Stefano, Luca, Fabrizio, Giorgio, Fulvio, il 'Don' Remigio, Hector, Sergio e Andrea. infine, Un grazie immenso va ai due ingegneri con cui ho creato un legame forte di amicizia vera, ovvero i rispettosi Andrea Blengio e Stefano Anselmi.

Infine, ringrazio e ringrazierò per sempre i miei genitori e il mio fratellino che hanno sempre creduto in me. La mia famiglia ha sacrificato molto per me e per questo le sarò sempre grato.

# **Validazione di banchi di prova per test di fatica di freni a tamburo con attuatore elettrico (EPB-Si) e analisi di parametri e fattori esterni influenti**

## **Sommario**

La seguente tesi è stata sviluppata presso il reparto Sperimentazione di Continental Brakes Italy S.p.a., parte della R&D Unit di Continental.

Gli obiettivi principali della tesi sono:

- **Valutare la funzionalità di 4 nuovi banchi di lavoro Hand Brake Lever utilizzati per testare la vita a fatica del freno a tamburo con attuatore elettrico.**
- **Analizzare la vita a fatica di quest'ultimo e valutare l'effetto sulla vita a fatica di diversi fattori che intervengono nelle attuazioni del freno, per individuare la configurazione di set-up ottimale.**

Il primo obiettivo è stato raggiunto tramite un set di test, in cui sono state svolte prove con precisi valori di frequenza, carico e corsa per poter fare una comparazione dei risultati con test fatti sui precedenti banchi di lavoro.

Il secondo obiettivo è stato finalizzato conducendo una lunga serie di test raggruppati in base a diversi valori di frequenza e carico e diversi intervalli di corsa, e successivamente questi sono stati analizzati tramite lo studio di Wohler e le distribuzioni di probabilità di Weibull.

Quindi in poche parole grazie all'utilizzo e al controllo di attuatori pneumatici si andrà a verificare a fatica la vita dei componenti del freno (leva frena a mano, cavo, adjuster, perno leva, ecc), e analizzare, con le varie acquisizioni, se essa può essere migliorata o in qualche modo condizionata da eventuali fattori, come potrebbe essere la frequenza di tiro, il profilo di forza attuata oppure la corsa del cavo.

I risultati dei test possono essere considerati positivi perché hanno permesso di fare delle considerazioni riguardo la vita a fatica del freno, arrivando a definire l'assetto dei parametri migliore per la sua durata.

|  |    |
|--|----|
| INTRODUZIONE.....                                    | 6  |
| <b>Azienda ospitante</b> .....                       | 6  |
| <b>Freni a tamburo</b> .....                         | 8  |
| <b>Freno a tamburo SiC-M</b> .....                   | 10 |
| <b>Caratteristiche principali e componenti</b> ..... | 10 |
| <b>Tamburo</b> .....                                 | 11 |
| <b>Piatto</b> .....                                  | 11 |
| <b>Ganasce</b> .....                                 | 12 |
| <b>Cilindretto attuatore</b> .....                   | 13 |
| <b>Autoregistro</b> .....                            | 15 |
| <b>Reaction block o abutment</b> .....               | 16 |
| <b>Freno di stazionamento</b> .....                  | 16 |
| <b>Il sistema EPB SiC-M</b> .....                    | 18 |
| <b>Bracket</b> .....                                 | 19 |
| <b>MGU</b> .....                                     | 19 |
| <b>Banco Prova</b> .....                             | 22 |
| <b>Set-Up del banco</b> .....                        | 24 |
| <b>Piano prove</b> .....                             | 27 |
| <b>0.5 Hz</b> .....                                  | 28 |
| <b>Conclusioni</b> .....                             | 29 |
| <b>2 Hz</b> .....                                    | 45 |
| <b>Conclusioni</b> .....                             | 46 |
| <b>4 Hz</b> .....                                    | 70 |
| <b>Conclusioni</b> .....                             | 71 |
| <b>Conclusioni finali</b> .....                      | 81 |

## INTRODUZIONE

### **Azienda ospitante**

La Continental Brakes Italy nasce nel 1984 con il nome di Automotive Products Italia (AP) S.r.l. come business process outsourcing del gruppo Fiat, rimanendo un'azienda monocliente fino al 1997, anno fino al quale la produzione era composta totalmente da freni destinati a vetture e veicoli commerciali di tale gruppo. A partire dall'anno 1998 è cambiata la strategia aziendale indirizzata verso la diversificazione dei clienti la quale ha portato ad un ampliamento dell'azienda sia per quanto riguarda le dimensioni fisiche, sia per quanto riguarda il personale dipendente.

L'attività svolta all'interno dello stabilimento di Cairo Montenotte riguarda la progettazione e la produzione di freni a tamburo per automobili e veicoli commerciali. I freni a tamburo prodotti sono stati montati di serie su gran parte dei veicoli attualmente circolanti e/o attualmente in produzione. Tra i costruttori che usano o hanno usato questi freni si trovano: Fiat, Lancia, Ford, Mazda, Renault, Nissan, Opel, Toyota, Land Rover, Piaggio, Volkswagen, BMW, Skoda, Autovaz, Bremach ed Effedi; inoltre questi freni sono anche applicabili su vetture e veicoli commerciali non equipaggiati con freni Continental al primo impianto.

Ad oggi lo stabilimento produttivo di Cairo Montenotte è leader a livello europeo nella progettazione e produzione di freni a tamburo e, a seguito della sua acquisizione da parte della multinazionale tedesca Continental AG, avvenuta nel 2007, è entrato a far parte di uno dei cinque maggiori fornitori al mondo per quanto riguarda la componentistica automotive. A seguito di questa acquisizione, lo stabilimento ha cambiato il suo nome diventando Continental Brakes Italy, come è attualmente conosciuto.

Il gruppo multinazionale Continental AG, fondato nel 1897 ad Hannover, dove ha tutt'ora la sua sede, è uno dei principali fornitori internazionali per l'industria automobilistica ed ha sedi produttive ed uffici in tutto il mondo. Il gruppo è inserito nel mercato dei componenti per autovetture e tra i suoi clienti si annoverano le principali case automobilistiche europee e mondiali. La Continental Brakes Italy si inserisce quindi nella divisione Chassis & Safety ed in particolare nella Business Unit Hydraulic Brake Systems (HBS).

La Continental Brakes Italy, grazie ad una serie di consolidati strumenti tecnici ed all'applicazione di opportune procedure finalizzate alla "Gestione della Qualità totale", è ad oggi leader nella progettazione e fabbricazione di freni a tamburo completi.

La Continental Brakes Italy è orientata verso un continuo sviluppo di nuove tecnologie associate ai freni a tamburo e di stazionamento al fine di poter sempre soddisfare al meglio le esigenze dei suoi clienti.

Le procedure interne soddisfano a pieno i requisiti previsti dalle normative internazionali di riferimento, ciò è dimostrabile dalle certificazioni rilasciate al sistema di qualità di Continental Brakes Italy.

L'impegno di Continental Brakes Italy non si limita solamente al mantenimento di alti standard qualitativi ma anche alla tutela ambientale, per tale motivo l'azienda è dotata di un sistema di gestione ambientale operante tramite specifiche procedure.

Il forte impegno dell'azienda nel rispetto delle leggi e delle regolamentazioni in materia ambientale, unito ad azioni sviluppate su base volontaria, finalizzate al continuo miglioramento anche su questo fronte, hanno permesso all'azienda di conseguire la più prestigiosa certificazione internazionale in materia ambientale.

In aggiunta alle certificazioni precedentemente elencate, nel 2018, la Continental Brakes Italy ha inoltre conseguito anche una certificazione riguardo il suo sistema di gestione dell'energia. Questa certificazione dimostra un solido impegno dell'azienda al continuo miglioramento delle sue prestazioni energetiche.

## **Freni ad attrito radente**

In campo automotive nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi sistemi di frenatura in grado di sfruttare differenti principi fisici per esercitare l'azione frenante, come per esempio l'attrito radente, le correnti di Foucault o il magnetismo. Tuttavia il fenomeno più ampiamente sfruttato per la realizzazione di freni è sicuramente l'attrito radente tramite il quale l'energia cinetica del veicolo viene dissipata in calore. Questo avviene grazie allo strisciamento che avviene tra il materiale d'attrito (generalmente posto su un elemento all'interno del componente fissato al telaio) ed il componente solidale alla ruota (e quindi mobile).

In particolare, all'interno della categoria dei freni ad attrito radente, le due soluzioni che risultano maggiormente impiegate in campo automobilistico sono il freno a disco rotante (principalmente monodisco) ed il freno a tamburo a ceppi interni. Le caratteristiche principali richieste a questo tipo di freni sono:

- Bassa forza di comando (ovvero la forza esercitata dal conducente sul pedale del freno durante la frenata);
- Elevata efficacia (intesa come il rapporto tra la forza di attrito esercitata e la forza di comando richiesta per generarla);
- Prestazioni costanti durante tutta la vita del freno (in modo che la sensazione sul pedale del freno durante l'attuazione dello stesso non vari con l'usura);
- Semplicità di installazione, manutenzione e sostituzione;
- Costo contenuto.

Riguardo a queste ed altre caratteristiche si possono confrontare i due freni per capire le applicazioni più adatte ad una soluzione piuttosto che all'altra.

- Efficacia: a parità di ingombro, le coppie frenanti esercitate da un freno a tamburo risultano notevolmente superiori rispetto a quelle generate da un freno a disco.
- Forza di comando e corsa di lavoro: questi due parametri vengono analizzati insieme in quanto sono correlati alla facilità di frenata e alla sicurezza percepita dal conducente. La corsa di

lavoro è funzione della lunghezza e della geometria dell'impianto frenante, nonché dalla distanza tra il componente mobile e quello fisso del freno. Essa risulta circa uguale per entrambe le soluzioni mentre la forza di comando richiesta per l'azionamento di un freno a tamburo risulta superiore.

- **Regolarità:** per quanto riguarda la costanza delle prestazioni all'aumentare dell'usura, il freno a tamburo risulta mediamente migliore rispetto al freno a disco.
- **Usura:** nei freni a disco, la ripartizione della pressione risulta nettamente più uniforme di quella di un freno a tamburo, per tale motivo l'usura rilevata sul materiale d'attrito di questi freni risulta molto più regolare che su di un freno a tamburo.
- **Caratteristiche costruttive.** Costruttivamente un freno a disco è costituito da un numero minore di componenti rispetto ad uno a tamburo; questo si traduce in una maggiore semplicità ed in un peso complessivo minore. Inoltre, essendo le pastiglie di un freno a disco molto più facilmente accessibili delle ganasce di un tamburo, il tempo necessario per la loro sostituzione è nettamente inferiore.
- **Condizioni di esercizio gravose:** l'assenza di distorsioni rende i freni a disco più indicati per applicazioni di esercizio gravose, infatti essi sono più utilizzati su veicoli performanti ove vengono realizzati più frequentemente cicli di frenatura anche ad alte velocità.
- **Condizioni ambientali:** durante la progettazione dei freni è necessario tenere in considerazione tutte le possibili condizioni di utilizzo (asciutto, bagnato, caldo, freddo, sporco, umido) al fine di poter studiare soluzioni capaci di garantire un valore adeguato di forza frenante in ogni condizione. Riguardo questo aspetto si può notare come gli organi funzionali di un freno a tamburo risultino più protetti rispetto a quelli di un freno a disco rendendo la prima tipologia di freno più resistente alle diverse condizioni ambientali che si possono verificare durante la vita operativa a bordo veicolo.

## **Freni a tamburo**

Il freno a tamburo è composto essenzialmente da un tamburo, ossia un corpo di forma cilindrica solidale alla ruota, e da un complessivo formato da una o più ganasce montate su un piatto, solidale al veicolo. Il freno può avere sia freni interni che esterni. In questa breve trattazione si presenteranno solamente freni a ceppi interni. Possiamo distinguere due tipi di ganasce, in base al verso di rotazione:

- **Avvolgenti,** se la forza con cui il cilindretto spinge la ganascia verso il tamburo fa ruotare la ganascia nello stesso verso di rotazione del tamburo e quindi la forza di reazione del tamburo sulla ganascia tende ad avvicinare la ganascia al vincolo, tendendo ad aumentare conseguentemente la superficie e la pressione di contatto.
- **Svolgenti,** se la forza fa ruotare la ganascia nella direzione opposta alla rotazione del tamburo. La distinzione può equivalentemente essere effettuata guardando la forza di reazione che il tamburo esercita sulla ganascia: se la forza di reazione del tamburo sulla ganascia tende ad allontanare la ganascia dal vincolo

Un freno può essere montato in diverse configurazioni:

- **Simplex:** un ceppo avvolgente e uno svolgente, l'organo di azionamento è unico e il funzionamento è identico per i due versi di rotazione.

- Duplex: due ceppi avvolgenti, il freno ha maggiore efficacia ma necessita di due organi di comando e nel caso di inversione di moto il freno diventa a due ceppi svolgenti perdendo di efficacia.

In campo automotive sono utilizzati maggiormente i freni a tamburo di tipo simplex, con una ganaschia avvolgente, anche chiamata primaria (leading shoe) ed una svolgente, anche chiamata secondaria (trailing shoe).

Considerando la produzione della Continental Brakes S.p.a. nello stabilimento di Cairo Montenotte e l'oggetto della presente Tesi verrà presentato solamente il freno a tamburo nella sua configurazione maggiormente utilizzata, ovvero quella denominata Simplex.

I ceppi possono essere a punti fissi oppure fluttuanti; nel primo caso essi sono incernierati sul piatto mentre nel secondo essi sono semplicemente appoggiati su una superficie di riscontro sulla quale sono tenuti in contatto tramite una molla

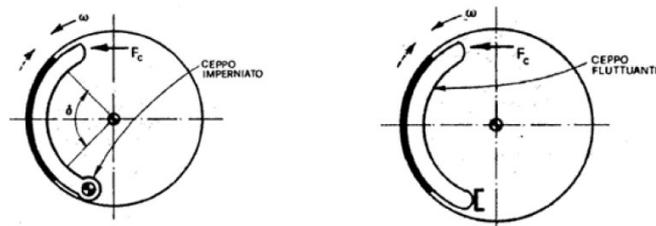
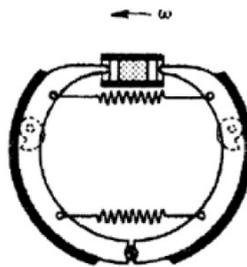


Figura 1 ceppo vincolato e ceppo fluttuante

Sebbene questa seconda soluzione porti con sé delle inevitabili imperfezioni di lavorazione, permette al materiale d'attrito un migliore contatto col tamburo; infatti nel freno Simplex si utilizzano ceppi fluttuanti.

A parità di forza di comando esercitata, la coppia generata risulta maggiore qualora le condizioni di funzionamento tendano a comprimere il ceppo contro il tamburo, ossia nel caso di ceppo avvolgente. Nel freno Simplex si ha un ceppo compresso ed uno teso con il conseguente vantaggio di poter avere un unico organo di comando in quanto i punti di applicazione delle forze frenanti sulle due ganasce sono vicini ed affacciati; inoltre il funzionamento del freno è uguale per entrambi i versi di rotazione del tamburo.



Un ceppo teso ed uno compresso

Figura 2 Freno Simplex

In questa tipologia di freno l'azionamento avviene tramite un cilindro idraulico all'interno del quale sono situati due pistoncini che spingono i ceppi contro il tamburo. Il vantaggio è quello di avere un sistema di azionamento compatto, affidabile e relativamente poco costoso mentre lo svantaggio è che,

essendo all'interno del tamburo, il sistema è soggetto ad alte temperature con conseguente possibile deterioramento delle tenute.

## Freno a tamburo SiC-M

In questa sezione si descriveranno le principali caratteristiche di un freno a tamburo SiC-M secondo la configurazione attualmente in produzione presso Continental Brakes Italy e che costituisce l'oggetto della campagna di testing analizzata in questa tesi.

### Caratteristiche principali e componenti

Si tratta, come evidenziato in precedenza, di freni a tamburo a ceppi interni di tipo Simplex la cui superficie attiva, costituita da materiale d'attrito, viene premuta durante la frenata contro la superficie interna del tamburo solidale alla ruota del veicolo. In questo modo l'energia cinetica viene dissipata in calore producendo così il rallentamento o l'arresto del veicolo. Per quanto riguarda invece il freno di stazionamento, esso è azionato elettricamente secondo il sistema denominato EPB SiC-M che verrà descritto in seguito.

I componenti principali di un freno a tamburo a ceppi interni sono evidenziati nelle figure seguenti:

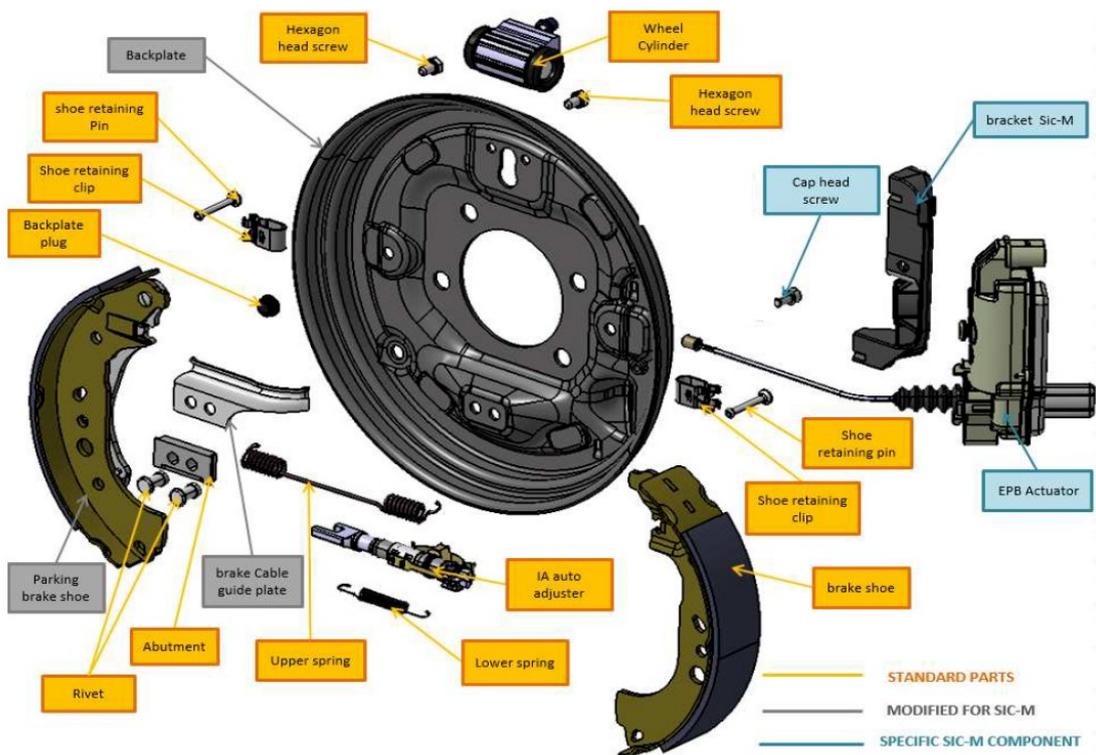


Figura 3 Esploso assieme freno a tamburo

Il SiC-M è costituito da alcuni elementi già presenti nel freno a tamburo standard, in alcuni casi modificati, più alcuni elementi aggiuntivi:

1. Cilindretto idraulico (wheel cylinder)
2. Molla superiore (upper spring)
3. Molla inferiore (lower spring)
4. Perno di ritengo della ganaschia (shoe retaining pin)
5. Clip di ritengo della ganaschia (shoe retaining clip)
6. Leva del freno a mano (hand brake lever)
7. Ganaschia primaria (leading shoe)
8. Ganaschia secondaria (trailing shoe)
9. Abutment
10. Piatto portafreno (backplate)

11. Autoregistro incrementale automatico (automatic incremental adjuster)
12. Tappo di ispezione (inspection plug)
13. Guida del cavo (Cable guide plate)
14. Supporto per l'attuatore (Bracket)
15. Attuatore incluso il cavo (MGU – Motor Gear Unit)

Nella prima figura sottostante viene mostrato il complessivo con MGU non montato e senza tamburo, nella seconda invece si vede il complessivo con il tamburo montato sul banco di lavoro:

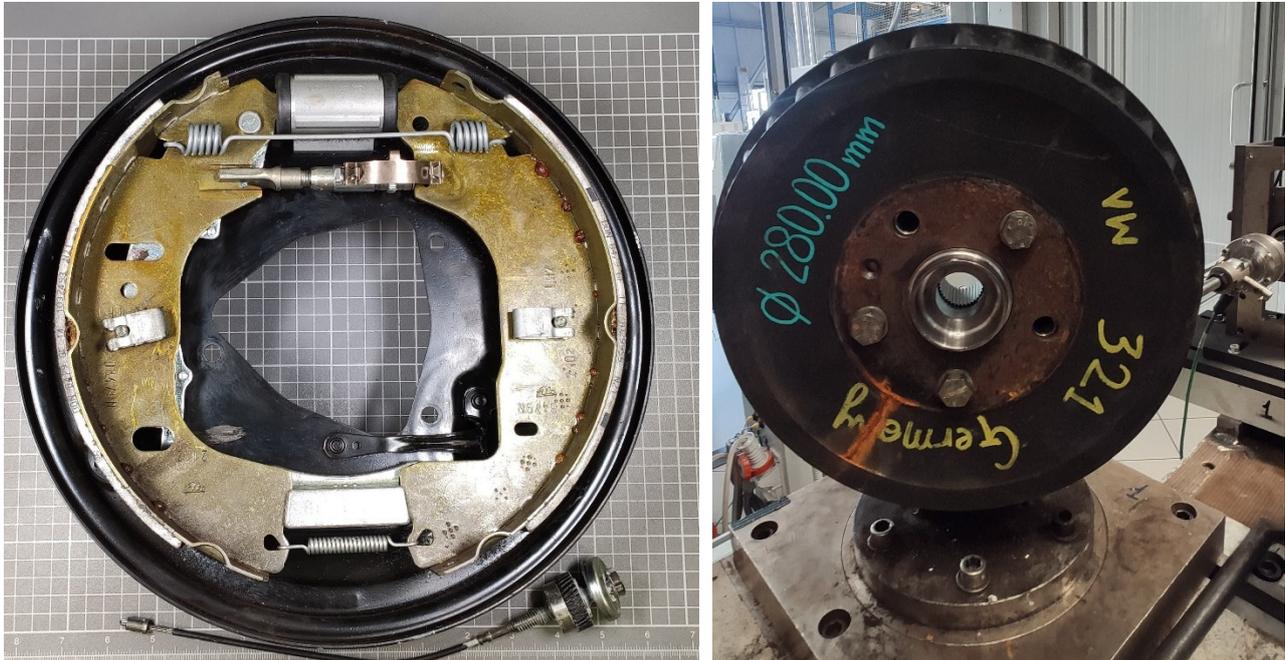


Figura 4 Assieme senza e con tamburo

### Tamburo

Il tamburo, come detto, è l'elemento che subisce l'azione di frenatura e viene fissato al mozzo ed alla ruota del veicolo rimanendo così solidale a quest'ultima. Esso ha il compito principale di dissipare il calore prodottosi durante la frenata ed infatti è generalmente realizzato in ghisa in quanto essa ha una capacità termica maggiore rispetto all'acciaio.

### Piatto

Il piatto costituisce l'elemento di supporto per i componenti che costituiscono il freno a tamburo e viene fissato direttamente al knuckle collegato alla sospensione. Esso è realizzato in acciaio da profondo stampaggio e la sua geometria è variabile a seconda del progetto e del cliente per cui è realizzato. Tuttavia, gli elementi caratteristici sono comuni a tutti i tipi di piatto e comprendono:

- **Fori per il fissaggio sul mozzo (1);**
- **Pianetto di appoggio del cilindretto e relativi fori per il fissaggio (2);**
- **Pianetti di appoggio per le ganasce (3);**
- **Fori per i perni di ritenuta delle ganasce (4);**
- **Pianetto di appoggio del reaction block;**

- Ganci di fissaggio del bracket e foro per la relativa vite (5);
- Superficie di reazione per l'assieme EPB SiC-M (6).



Figura 5 Piatto con cilindretto e reaction block



Figura 6 Sede del bracket su piatto

## Ganasce

Le ganasce, più correttamente denominate ceppi, costituiscono gli elementi frenanti del sistema; infatti esse vengono premute contro la superficie interna del tamburo per creare attrito e dunque dissipare l'energia cinetica in calore. Esse sono composte a loro volta da tre elementi: la costa, la fascia ed il materiale d'attrito (o lining). Le prime due sono realizzate in materiale metallico e vengono rivettate assieme per formare la struttura della ganascia mentre il materiale d'attrito viene incollato sulla superficie esterna della fascia ed è quello che andrà a contatto con il tamburo. Il materiale di cui è costituito è studiato appositamente per garantire un elevato coefficiente d'attrito ed un'usura il più possibile ridotta ed uniforme del lining stesso.

Si distinguono una ganascia primaria ed una secondaria: la primaria è quella che, una volta montato il freno a bordo veicolo, si trova in posizione anteriore prendendo come riferimento la vettura stessa mentre la secondaria è quella che si trova posteriormente. Il materiale d'attrito sulle due ganasce non è incollato nella stessa posizione e solitamente non ha neanche uno spessore costante lungo tutta la fascia. Questo perché durante una frenata in marcia avanti, che rappresenta la maggior parte delle applicazioni durante la vita del freno, le zone più sollecitate e soggette all'usura sono rispettivamente quella superiore per la ganascia primaria e quella inferiore per la secondaria.

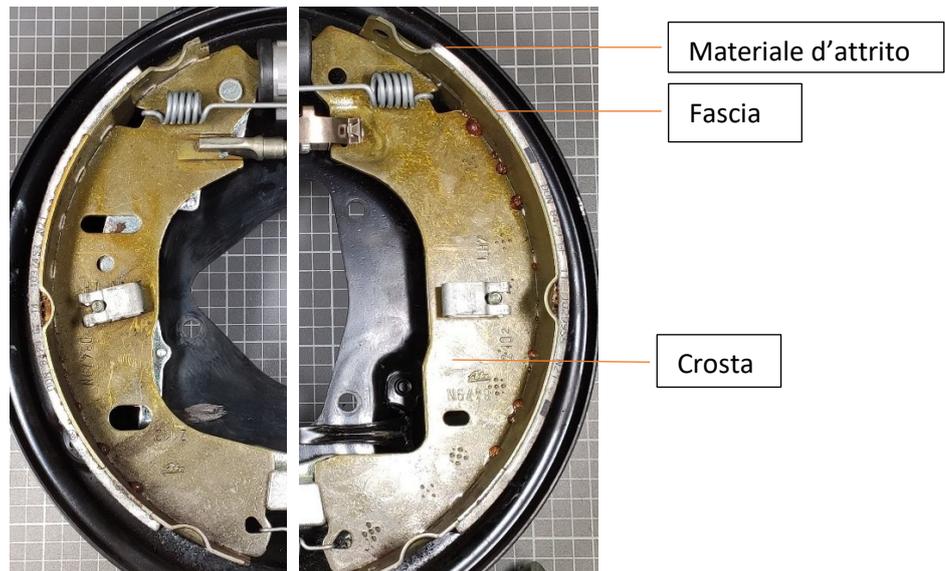


Figura 7 Ganascia primaria e secondaria

Nei freni equipaggiati con il sistema EPB SiC-M che prevede l'attuazione elettrica del freno di stazionamento, sulla ganascia primaria viene montata anche la leva del freno di stazionamento che viene rivettata sulla costa della ganascia stessa. Questo perché in questo tipo di freni l'attuatore è montato sulla parte posteriore del piatto e quindi il cavo del freno di stazionamento arriva da dietro rispetto alla leva, mentre nel caso venga usato un freno di stazionamento manuale il cavo arriverebbe dalla parte anteriore del veicolo.

Le ganasce vengono fissate sul freno tramite delle clip elastiche che si impegnano su dei perni che fanno presa sul piatto, inoltre esse si appoggiano inferiormente al reaction block, sul quale vengono premute dalla molla inferiore, e superiormente ai pistoncini del cilindretto, sui quali il contatto viene assicurato dalla molla superiore.

### Cilindretto attuatore

Il cilindretto attuatore è il cilindro oleodinamico che comanda l'apertura delle ganasce permettendo così di effettuare la frenata. Esso è composto dai seguenti componenti:

- Corpo;
- Pistoncini;
- Molla;
- Cuffie;
- Vite di spurgo.



Figura 8 Componenti del cilindretto

Il corpo è un cilindro di alluminio con una parte posteriore piana in modo da andare correttamente a battuta con l'apposito pianetto sul piatto per poi poter essere fissato su di esso. Nella porzione piana del cilindretto sono praticati quattro fori: due per le viti di fissaggio, la cui forma e coppia di serraggio dipendono dal cliente e dal progetto, uno per l'alimentazione idraulica (quello inferiore in Figura 2.18) ed uno per inserire la vite di spurgo. Quest'ultima serve a spurgare il circuito idraulico per far fuoriuscire tutta l'aria contenuta in esso in quanto essa è un fluido comprimibile e dunque potrebbe generare problemi durante la frenata (come, per esempio, una pressione insufficiente ad aprire le ganasce oppure una risposta del pedale del freno non adeguata).



*Figura 9 cilindretto assemblato*

All'interno del corpo sono presenti due pistoncini che rappresentano i veri attuatori del freno a tamburo; infatti, sono questi che spingono le ganasce verso l'esterno quando si dà pressione al sistema. In essi la porzione che va a contatto con le ganasce ha un diametro minore rispetto al corpo del pistoncino che invece ha lo stesso diametro del corpo; sul fondo invece è presente un incavo che permette all'olio di entrare per spingere il pistoncino in maniera più efficace anziché spingerlo semplicemente su una superficie piana. Infine, per garantire una tenuta ottimale del sistema, sui pistoncini sono fissati degli anelli di tenuta in materiale polimerico.



*Figura 10 Cilindretto montato sul freno*

Completano il cilindretto attuatore due cuffie, anch'esse in materiale polimerico, che vengono fissate tra le estremità dei pistoncini ed il corpo del cilindretto stesso; esse servono a proteggere la camera di lavoro e le guarnizioni da possibili inquinanti esterni che potrebbero entrare all'interno compromettendo il funzionamento.

## Autoregistro

L'autoregistro è un dispositivo meccanico che serve a regolare la distanza tra le ganasce in condizioni di riposo, ovvero in assenza di pressione nel circuito idraulico che comanda il cilindretto attuatore. Questa regolazione è necessaria in quanto si vuole mantenere il più possibile costante lungo tutto il ciclo di vita del freno il gioco presente a riposo tra la superficie interna del tamburo ed il materiale d'attrito, detto TSCC (Total Shoes Center Clearance). Infatti, durante l'utilizzo, il lining si usura e si assottiglia aumentando così la distanza tra sé ed il tamburo; questo comporterebbe la necessità di una maggiore corsa delle ganasce per andare a frenare il tamburo stesso e di conseguenza una maggiore escursione del pedale del freno man mano che l'usura avanza. Per evitare ciò e allo stesso tempo evitare di dover effettuare una regolazione manuale periodica del TSCC si ricorre ad una regolazione automatica del gioco tramite appunto l'autoregistro che permette, ad ogni azionamento del freno, di recuperare una distanza pari a 0,025 mm per ogni scatto del dispositivo (il TSCC deve rimanere nel range 0,40÷0,70mm).

Esso è composto da 5 componenti fondamentali:

- 1) Corpo;
- 2) Molla a balestra (clicker);
- 3) Nottolino di regolazione;
- 4) Settore filettato;
- 5) Lama bimetallica.



Figura 11 ADJ scomposto e assemblato

Il funzionamento di questo elemento è basato sull'accoppiamento filettato tra il corpo ed il settore filettato dell'autoregistro; infatti, il primo ruotando fa avanzare il secondo "aprendo" in questo modo il dispositivo e di conseguenza la distanza tra le ganasce. Per far ruotare il corpo ci si serve di una molla a balestra o clicker la cui lamella superiore si impegna su uno dei denti del nottolino di regolazione solidale al corpo e lo spinge provocandone così la rotazione. Questa "spinta" deriva dal precarico della molla stessa che avviene quando le ganasce sono a riposo e comprimono l'autoregistro inarcando il clicker e quindi caricandolo. In questo modo la molla si comprime e la relativa lamella arretra andando ad impegnarsi con il dente successivo del nottolino. Al momento della frenata questa compressione viene rilasciata e la molla è nuovamente libera di distendersi facendo così avanzare la lamella che provoca la rotazione del nottolino e quindi del corpo.

La lama bimetallica ha invece la funzione di impedire un eccessivo avanzamento del settore filettato in caso di surriscaldamento del tamburo. Infatti può capitare che, per esempio durante una frenata prolungata, il tamburo si surriscaldi e di conseguenza si dilati; in questo caso il settore filettato potrebbe avanzare molto in quanto le ganasce si aprirebbero maggiormente rispetto alle condizioni normali. Di conseguenza una volta terminata la frenata ed abbassata la temperatura del tamburo si avrebbe il bloccaggio del freno in quanto l'autoregistro ha recuperato tutto il gioco presente in condizioni di tamburo dilatato e quindi, una volta che quest'ultimo è tornato al proprio diametro normale, le ganasce rimangono a contatto con esso anche a riposo. La lama bimetallica impedisce che ciò accada in quanto è costituita da due metalli aventi coefficiente di dilatazione termica differenti; di conseguenza ad alte temperature essa si flette e, andando ad impegnarsi sugli appositi ganci, impedisce il funzionamento dell'autoregistro. La temperatura di attivazione di tale elemento è tra i 70°C ed i 90°C.

### **Reaction block o abutment**

Il reaction block (o abutment) costituisce l'elemento di riscontro sul quale si appoggiano inferiormente le ganasce e dunque il suo piano d'appoggio ne costituisce il fulcro senza necessitare di un perno che aumenterebbe sia il costo che la complessità del freno. Esso può essere rivettato sul piatto (e in questo caso viene denominato abutment) oppure può essere fissato tramite due viti (e in questo caso viene denominato reaction block) direttamente al knuckle collegato alla sospensione e ciò dipende dal progetto. Inoltre, nel caso dell'abutment, esso comprende in un unico elemento anche la guida cavo sulla quale scorre il cavo del freno di stazionamento mentre nei freni equipaggiati con reaction block questa viene rivettata separatamente sul piatto.

Nei nostri test parleremo solo di reaction block



*Figura 12 Abutment*

### **Freno di stazionamento**

Il freno di stazionamento permette di frenare l'auto, in caso di parcheggio, senza l'intervento del cilindretto attuatore e dunque senza un azionamento diretto da parte del guidatore. In pratica la leva del freno a mano dell'auto ha lasciato il posto a una centralina elettronica e a un pulsante che attiva il freno di stazionamento elettrico. La centralina di gestione del sistema è integrata e in comunicazione con gli altri impianti di bordo. In questo modo consente di ottenere diverse comode funzioni, come l'assistenza in partenza in salita. Nella maggior parte dei casi, infatti, il freno a mano elettrico comprende la comoda e sicura funzione di Auto-hold che mantiene l'auto frenata quando si è fermi o in salita. Questo consente il grande vantaggio di una ripartenza in salita senza intoppi.

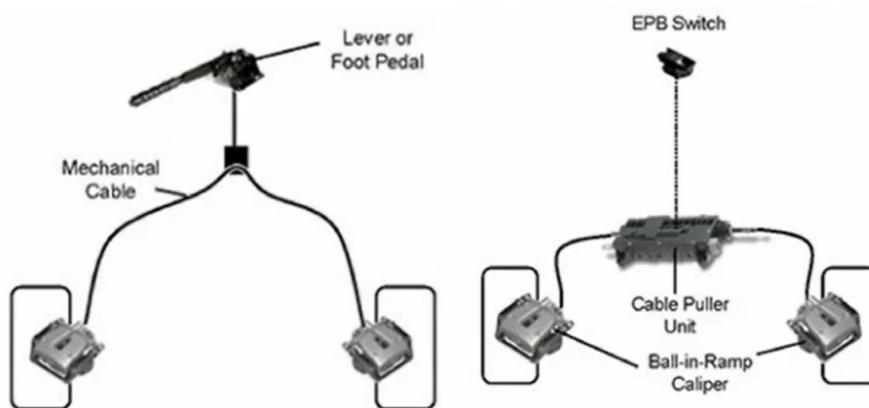


Figura 13 Freno a mano tradizionale ed elettrico

Nel freno di stazionamento elettronico è presente un motorino elettronico che, sostituendo il comando meccanico manuale, aziona il meccanismo del freno di stazionamento.

Esso si basa su due elementi principali: il cavo e la leva. Il primo è composto da più trefoli di fili di acciaio che si avvolgono secondo un'elica destrorsa o sinistrorsa a seconda che il freno sia montato sul lato destro o sinistro della vettura; su di essi viene posta una guaina protettiva. All'estremità del cavo viene crimpato il "nipple" che fa presa sull'uncino inferiore della leva (come mostrato in Figura 14) permettendo di tirare quest'ultima quando si attua il freno di stazionamento. Durante l'azionamento, dunque, il cavo viene tirato e a sua volta agisce sulla leva la quale ruota attorno al perno che la fissa alla ganaschia primaria e spinge sul settore filettato dell'autoregistro. Quest'ultimo trasmette la spinta alla ganaschia secondaria che quindi si apre, al contempo si apre anche la ganaschia primaria in quanto, quando la secondaria arriva a contatto col tamburo, la leva preme contro l'autoregistro e ciò fa ruotare il fulcro di quest'ultima aprendo anche la ganaschia primaria.

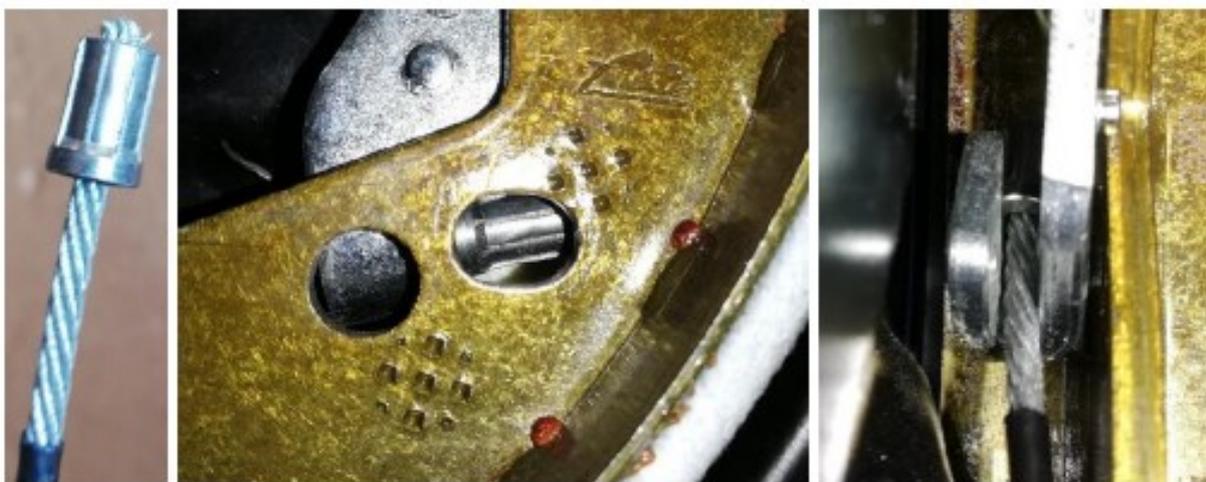


Figura 14 montaggio del cavo sulla leva

Per controllare e mantenere fissa la posizione del cavo a riposo, esso viene fatto passare all'interno della guida cavo che deve essere adeguatamente lubrificata tramite grasso onde evitare attriti eccessivi che porterebbero ad un'usura del cavo e della guida stessa.

Nella figura sottostante si mostra la guida cavo fornita dal piatto al termine del test:



Nel tipo di freno in esame in questa trattazione il freno di stazionamento è attuato elettricamente tramite il sistema EPB SiC-M, nel quale c'è un motore elettrico che tira il cavo per ogni freno a tamburo.

### **Il sistema EPB SiC-M**

In questo paragrafo si illustreranno le caratteristiche e le funzionalità del sistema denominato EPB SiC-M, ovvero il sistema che permette l'attuazione del freno di stazionamento elettrico tramite un attuatore montato direttamente su ognuno dei freni a tamburo.

Esso è composto da due elementi: l'attuatore o MGU e il bracket.



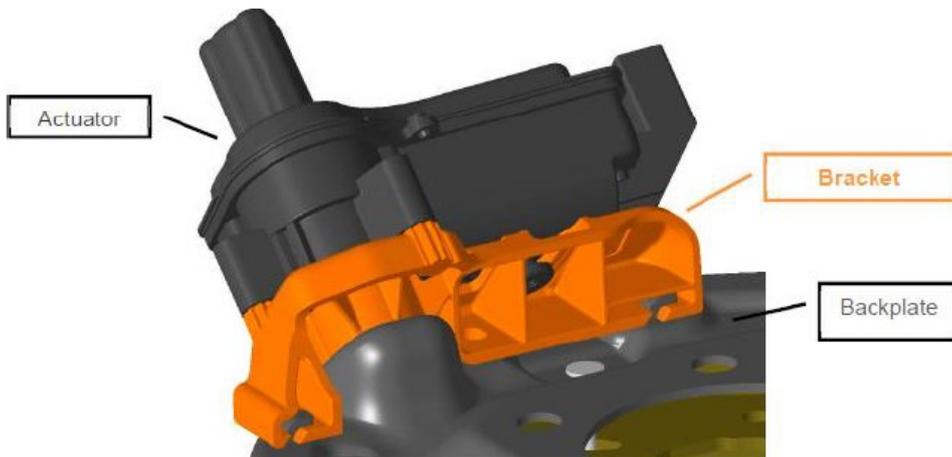


Figura 15 Assieme EPB SiC-M

### Bracket

Il bracket è il componente che permette il fissaggio dell'attuatore sull'assieme del freno a tamburo facendo quindi da interfaccia tra l'attuatore e il piatto del freno.



Figura 16 Bracket

### MGU

L'attuatore, o Motor Gear Unit (MGU), costituisce la vera e propria unità motrice del sistema e permette quindi la movimentazione del cavo, e di conseguenza della leva, del freno di stazionamento.

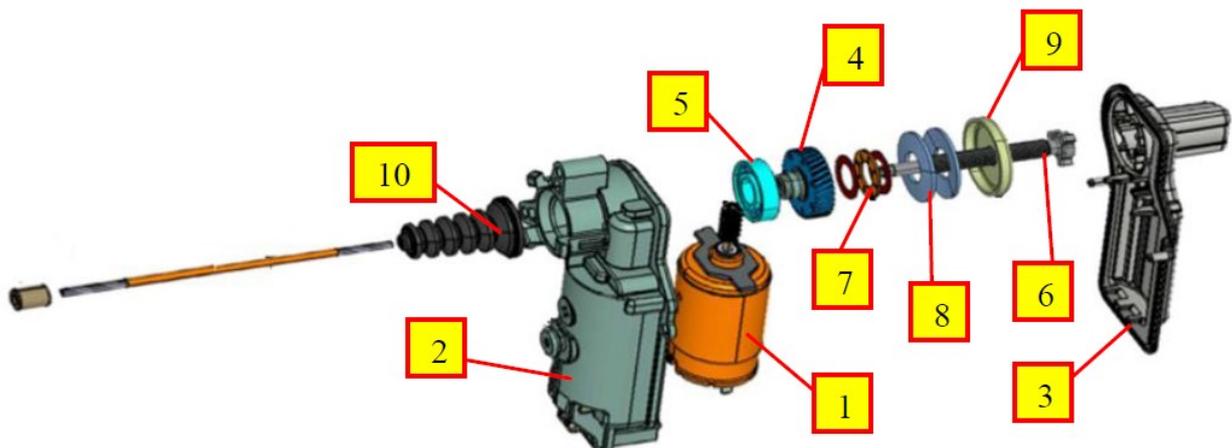


Figura 17 Esploso dell'attuatore MGU

Esso è composto da un motore elettrico a corrente continua (1 in figura 17) il cui albero in uscita è costituito da una vite senza fine e che viene inserito in un housing (2 in Figura 17) in materiale

plastico al cui interno sono presenti i contatti utili a connettere il motore elettrico all'alimentazione tramite l'apposito connettore in cui va inserito il cavo di alimentazione. Questi contatti vengono saldati per garantire un'alimentazione ottimale del motore elettrico.

All'interno dell'housing, nello slot adiacente a quello riservato al motore elettrico, viene inserito il cosiddetto "spindle" il cui scopo è quello di trasformare il moto rotativo dell'albero del motore in un moto lineare tramite un accoppiamento del tipo ruota dentata-vite senza fine. Infatti lo spindle è composto da sei elementi:

- Una madre vite (4);
- Un cuscinetto a sfere (5);
- Una vite centrale (6);
- Un cuscinetto assiale a rullini (7);
- Due coppie di molle a tazza contrapposte (8);
- Un coperchio metallico (9).

La prima costituisce l'elemento che va ad accoppiarsi con la vite senza fine posta sull'albero del motore elettrico. L'accoppiamento avviene tramite i denti esterni al corpo della madre vite che ingranano con la vite del motore elettrico in quanto essi sono inclinati di un angolo corrispondente all'angolo dell'elica della vite. In questo modo la rotazione lungo la direzione dell'asse dell'albero del motore elettrico viene trasformata in una rotazione lungo una direzione perpendicolare alla prima e corrispondente alla direzione dell'asse della vite centrale. All'interno invece la madre vite presenta semplicemente una filettatura che permette l'accoppiamento con la vite centrale.

Essa viene fissata all'interno dell'housing tramite un cuscinetto a sfere il cui anello esterno si incastra nell'apposito slot dell'housing stesso con un accoppiamento che presenta una leggera interferenza, mentre l'anello interno è accoppiato con interferenza con il corpo della madre vite. Questo si trova al di sopra della ruota dentata esterna della madre vite in modo da permetterne la rotazione e l'accoppiamento con l'elica sull'albero del motore elettrico senza interferenze da parte dell'housing stesso. Al di sotto della madre vite si trova invece un cuscinetto assiale a rullini.

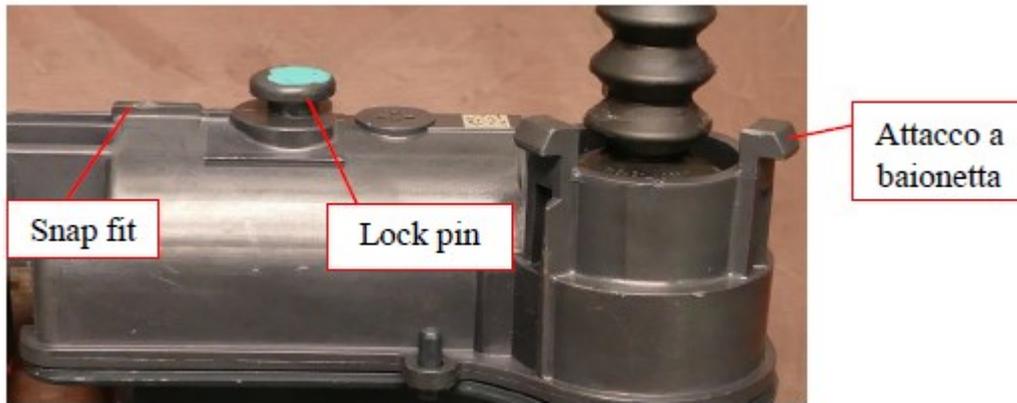
La vite centrale invece è il componente su cui viene fissato, tramite crimpatura, il cavo del freno di stazionamento e che ha quindi il compito di trasformare il moto rotativo della madre vite, comandato dal motore elettrico, in un moto di traslazione lungo il proprio asse. Ciò è possibile attraverso il corpo trilobato posto al fondo della vite stessa; esso infatti va ad accoppiarsi con il coperchio dell'housing (o cover, 3 in Figura 2.34) che, nella zona corrispondente, presenta una sorta di cilindro anch'esso trilobato nel quale il corpo estremo della vite è libero di scorrere ma non di ruotare a causa appunto dell'accoppiamento tra i lobi e le corrispondenti guide ricavate nel coperchio dell'housing. Questo inibisce la rotazione della vite stessa e permette così di trasformare la rotazione della madre vite in una traslazione della vite centrale, permettendo così la movimentazione del cavo del freno di stazionamento tramite il motore elettrico. All'esterno dell'housing la vite è protetta da una cuffia a soffiato di gomma (10 in Figura 2.34) che evita l'ingresso di polvere, sporcizia ed altri possibili contaminanti all'interno dell'assieme.

La vite, e di conseguenza anche la madre vite, è sinistrorsa per gli attuatori che andranno montati sul lato sinistro del veicolo mentre è destrorsa per quelli che andranno montati sul lato destro.

Infine completano l'assieme dello spindle due coppie di molle a tazza contrapposte e un coperchio metallico. Le prime hanno lo scopo di smorzare l'impatto generato dal ritorno della vite quando viene rilasciato il freno di stazionamento evitando così potenziali danni che potrebbero insorgere con il tempo e l'usura. Il coperchio invece ha il solo scopo di "chiudere" l'assieme e fare da superficie di reazione per le molle a tazza che hanno come superficie di reazione contrapposta il cuscinetto assiale.

Per quanto riguarda invece la funzione di fissaggio a bordo veicolo dell'attuatore, essa compete esclusivamente alla parte esterna dell'housing che presenta tre diversi attacchi per l'accoppiamento col bracket:

- Attacco a baionetta;
- Lock pin;
- Snap fit.



*Figura 18 attacchi del MGU*

Il primo consiste semplicemente in tre denti equispaziati posti sul corpo cilindrico nel quale viene fissato lo spindle e dal quale escono la vite centrale dello spindle e dunque il cavo del freno di stazionamento.

Il secondo è costituito da un corpo che ricorda la forma di un fungo con un diametro più stretto alla base e più grande alla sommità.

Infine il terzo consta di un singolo dente orientato lungo la direzione dell'asse del motore elettrico.

## Banco Prova

Il banco prova utilizzato per i test descritti in questa Tesi sono quattro attuatori pneumatici in parallelo in grado di applicare sui componenti diversi profili di carico a diverse frequenze grazie al software di controllo in Real time.

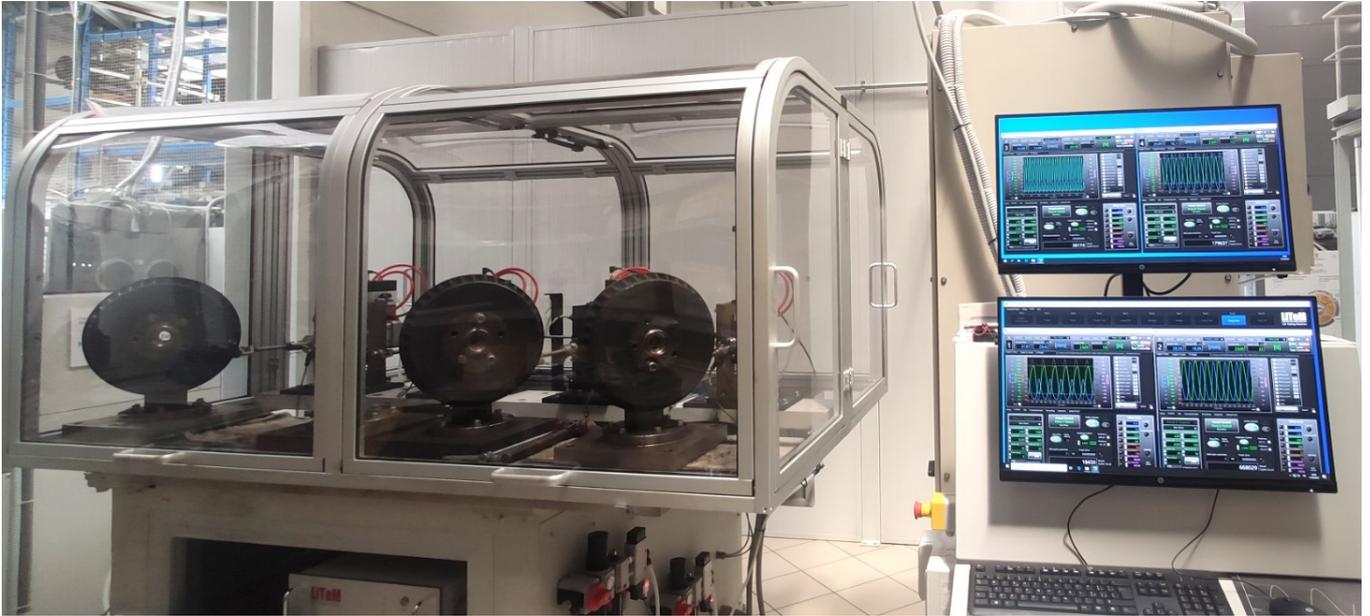


Figura 19 Banchi Prova

Ogni singolo banco di lavoro è composto da un attuttore di 50 mm di corsa completo di sensore di spostamento e cella di carico, una servo-valvola proporzionale completa di cavo, un gruppo trattamento aria completo di valvola shut-off, regolatore di pressione, manometro, filtro e pre-filtro e un'elettrovalvola on-off. Tutti e quattro gli attuatori sono comandati da un singolo controllore.

| Rif | Descrizione  | Specifiche tecniche   |
|-----|--|---|
| 1   | Attuttore pneumatico completo di sensore di spostamento integrato non a contatto   | Connettore M12 4 Poli maschio.<br>Sensore 24 Vdc - output 0-10V       |
| 2   | Servo-valvola proporzionale 5/3 - +/- 5V completa di cavo 5 metri assemblata su staffa alluminio attuttore   | Connettore M12 8 Poli maschio.<br>Alimentazione 24 Vdc - output +/-5V |
| 3   | Trasduttore di forza amplificato classe 1, completo di cavo 5 metri con connettore M12 - DB9, assemblato su piastra di ancoraggio inox 303                               | Connettore M12 4 Poli maschio.<br>Sensore 24 Vdc - output 0-10V       |
| 4   | Gruppo trattamento aria completo di valvola shut-off, regolatore di pressione, manometro, filtro e pre-filtro, elettro-valvola on-off, cavo 5 metri alimentazione 24 Vdc |   |

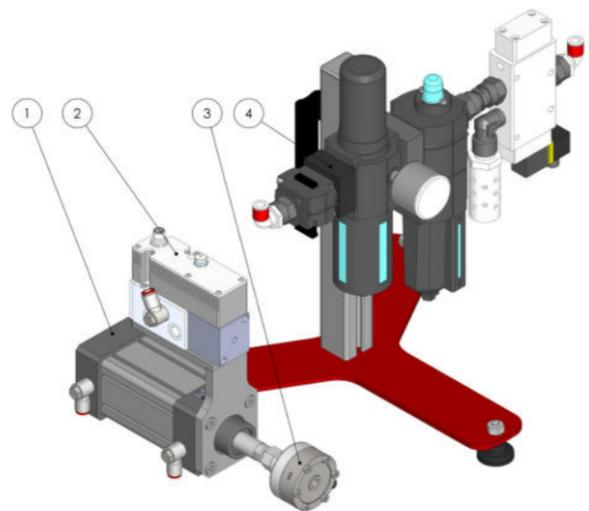


Figura 20 Hardware del Banco Prova



Figura 21 Controllore

Il software di interfaccia consente di collegarsi al controllore tramite cavo di rete e permette la gestione completa dei test. Mediante il software è possibile impostare i parametri di prova, i parametri di comando e sicurezza, la visualizzazione in tempo reale dei segnali di comando e le modalità di registrazione e salvataggio dei dati acquisiti.

Le prove possono essere eseguite indifferentemente in controllo di:

- Posizione
- Forza
- Encoder
- Canale Ausiliario AUX

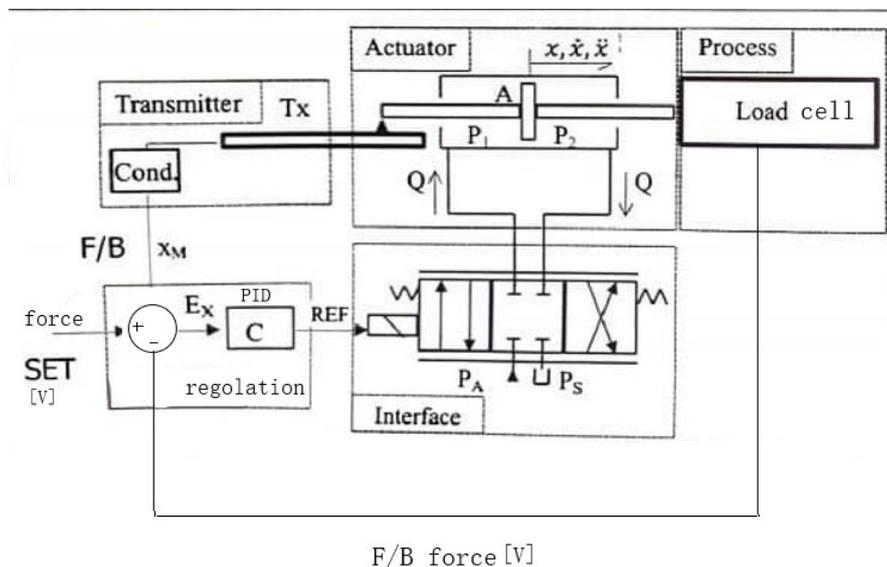
Per ogni singolo asse, qualsiasi sia la modalità di controllo, è possibile impostare la prova in modalità rampa (per prove statiche e semi-statiche) o con onda sinusoidale, triangolare o quadra.

I test che svolgeremo sono tutti in controllo di forza e prevedono tutti un profilo di carico sinusoidale. Questo segnale di set sarà dato dal software all'attuatore. Il segnale di feedback della cella di carico verrà acquisito e processato dal controllore in modo da minimizzare l'errore tramite un controllo ad anello PID.

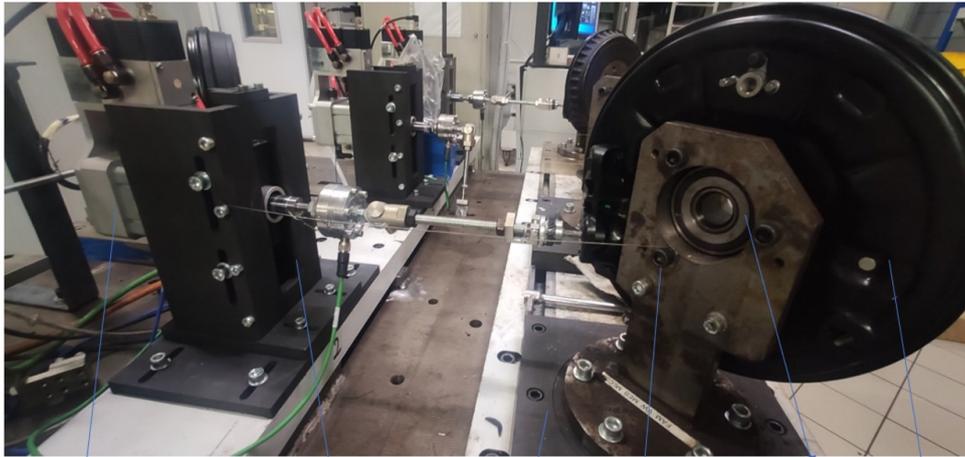
Inoltre, su tutti e 4 i segnali di acquisizione è possibile impostare dei limiti di sicurezza superiori e inferiori sul software, in modo che, se il feedback non è all'interno di questo delimitato range, subentra la valvola shut off togliendo pressione nell'attuatore e fermando di conseguenza il test.

I limiti di posizione superiore e inferiore imposti sulla corsa dell'attuatore sono molto importanti, perché sono quelli che lo arrestano qualora ci fosse una rottura dei componenti del freno, evitando quindi di danneggiarsi andando sempre a sbattere a fondo corsa.

Il percorso meccatronico seguito può essere rappresentato come qui sotto:



## Set-Up del banco



1

2

3

4

5

6

7

8

9

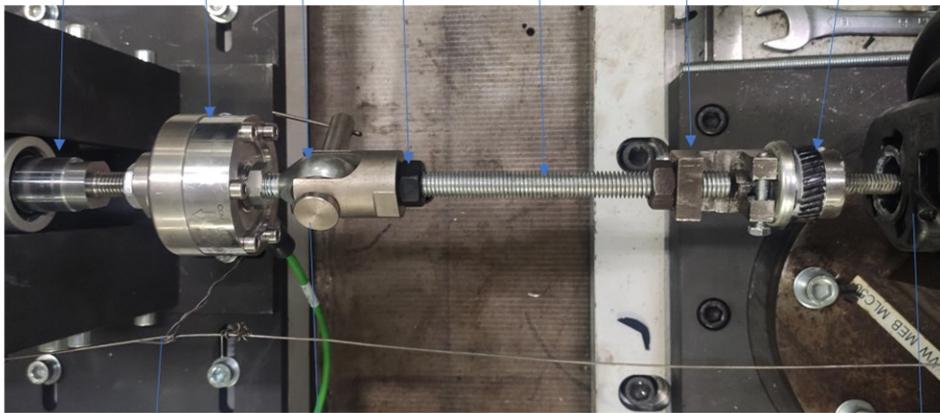
10

11

12

13

17



14

15

16



18

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 1  | Attuatore pneumatico  |
| 2  | Struttura di supporto |
| 3  | Basamento             |
| 4  | Torretta di sostegno  |
| 5  | Mozzo                 |
| 6  | Complessivo freno     |
| 7  | Pistone pneumatico    |
| 8  | Cella di carico       |
| 9  | Giunto sferico        |
| 10 | Dadi di fissaggio     |
| 11 | Barra filettata       |
| 12 | Uncino                |
| 13 | Mandrino              |
| 14 | Filo di supporto      |
| 15 | Perno di fissaggio    |
| 16 | Bracket               |
| 17 | Amplificatore         |
| 18 | laser                 |

## Procedura operativa di allestimento ed esecuzione prova:

Il test termina quando si è verificata almeno una rottura sia del cavo che della leva in modo da poter rappresentare una curva di Wohler per entrambi i componenti. Quindi si sostituisce il componente rotto con uno nuovo fino a che non avviene la rottura dell'altro tipo di componente, che sia cavo o leva. Il momento della rottura di questi due componenti viene rilevato dai limiti di sicurezza di posizione dell'attuatore imposti sul software, che se oltrepassati vanno a togliere aria al sistema con l'ausilio della valvola shut off.

- Montare la torretta di supporto (4) sul basamento (3), e montare il freno (6) senza tamburo sulla torretta, fissando con le viti inizialmente il piatto e reaction block, se presente.
- Procedere alla corretta configurazione degli angoli formati dal cavo: assicurarsi che la torretta formi l'angolo di progetto con l'asse del cavo.
- Regolare l'altezza dell'attuatore con l'ausilio del laser (18) avvitato sulla cella di carico, in modo da verificare la co-assialità con l'asse del cavo. Dopo di che, fissare la torretta al basamento con le viti.
- Assicurarsi che i dadi della cella di carico (8) sia ben avvitati sulla vite del pistone pneumatico (1).
- Assemblare il giunto sferico sulla cella di carico e avvitare la barra filettata (11) su di esso e successivamente fissare con il dado.
- Collegare lo spindle(13) preso dal motorino elettrico, già montato sul freno, all'uncino (12): prestare attenzione che lo stelo del pistone fuoriesca di  $40 \div 45$  mm (si legge la corsa sul software).
- Per variare la corsa del pistone di qualche mm si può operare sull'uncino: se non è sufficiente cambiare barra filettata con una della lunghezza desiderata
- Portare le ganasce al gap corretto e successivamente fissare l'ADJ e inibire la sua rotazione, in modo che non si chiuda.
- Se l'adj è strumentato collegarlo all'amplificatore (17) e il terminale di quest'ultimo nella porta ausiliaria del canale (attuatore) corrispondente nel pannello posteriore.
- Tarare con l'uso del software il precarico operante sulla leva, quando il pin "paracarro" sia avanzato della dimensione specifica di progetto rispetto alla costa.
- Se presente l'adj strumentato azzerare il precarico quando questo è libero con l'uso del software.
- Vincolare il cavo sulla cable guide con l'uso di una fascetta, in modo che non possa uscire fuori (vedi foto affianco). Chiudere il tamburo, avvitandolo sul mozzo.



- Procedere alla corretta configurazione di parametri di prova sul software e avviare il test: Il test devono essere in controllo di forza; tuttavia, si può cercare di regolare anche la corsa del cavo, 'giocando' con il valore della forza minima imposto al profilo 'sinusoidale'. Questo è possibile grazie al fatto che la leva pone pochissima resistenza quando si è vicini alla sua posizione di riposo: a bassi valori di forza corrispondono corse più lunghe.

Nell'immagine seguente si nota che a un valore minimo di forza uguale corrisponde una corsa di 15mm.

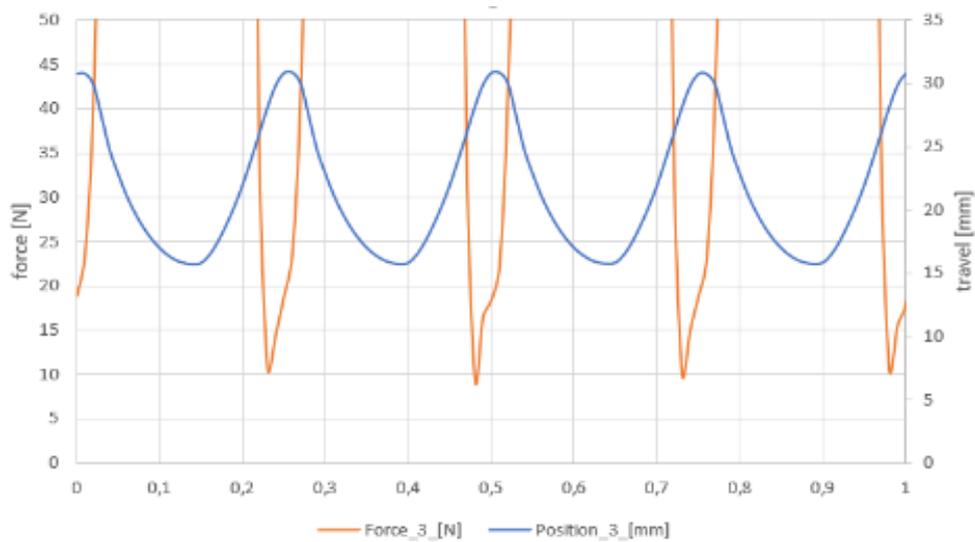


Figura 22 Esempio di profilo di corsa e profilo di forza inferiore

Se avessimo posto un valore più basso di forza avrei ottenuto una corsa più lunga. Non bisogna però mettere valori troppo alti di forza minima, perché deve avvenire il completo rilascio delle ganasce dal tamburo. Questo è importante per una corretta operazione di frenata.

- Ogni qualvolta il banco vada in allarme per superamento limiti di posizione e carico imposti, aprire il tamburo e controllare lo stato dei componenti: procedere alla sostituzione del componente nel caso di rottura.
- Il test può considerarsi concluso solo quando abbiamo almeno una rottura sia del cavo che della leva.

## Piano prove

Il test termina quando si è verificata almeno una rottura sia del cavo che della leva in modo da poter rappresentare una curva di Wohler per entrambi i componenti. Quindi si sostituisce il componente rotto con uno nuovo fino a che non avviene la rottura dell'altro tipo di componente, che sia cavo o leva.

Le attività svolte sono le seguenti:

- ›  $f=0.5\text{Hz}$  & Forza con ampiezza di carico A
  - › Corsa corta
  - › Corsa lunga
- ›  $f=2\text{Hz}$  & Forza con ampiezza di carico A
  - › Corsa corta
  - › Corsa lunga
- ›  $f=4\text{Hz}$  & Forza con ampiezza di carico A
  - › Corsa lunga

Purtroppo, non si sono riusciti a fare prove con corsa corta a 4Hz e i set di prove a un carico diverso per mancanza di tempo. Dunque, per plottare le curve di Wohler per i due componenti sono stati presi i risultati a un carico B svolti sui precedenti banchi di prova. I test a bassa frequenza (ovvero a frequenza standard 0.5Hz) hanno rallentato molto l'esecuzione di questi test di fatica. Quindi, un'ulteriore considerazione da fare è quella della fattibilità di riuscire ad accelerare queste prove senza andare ad intaccare l'affidabilità dei risultati.

New FAM test benches test IDs: 3, 4, 5 & 6

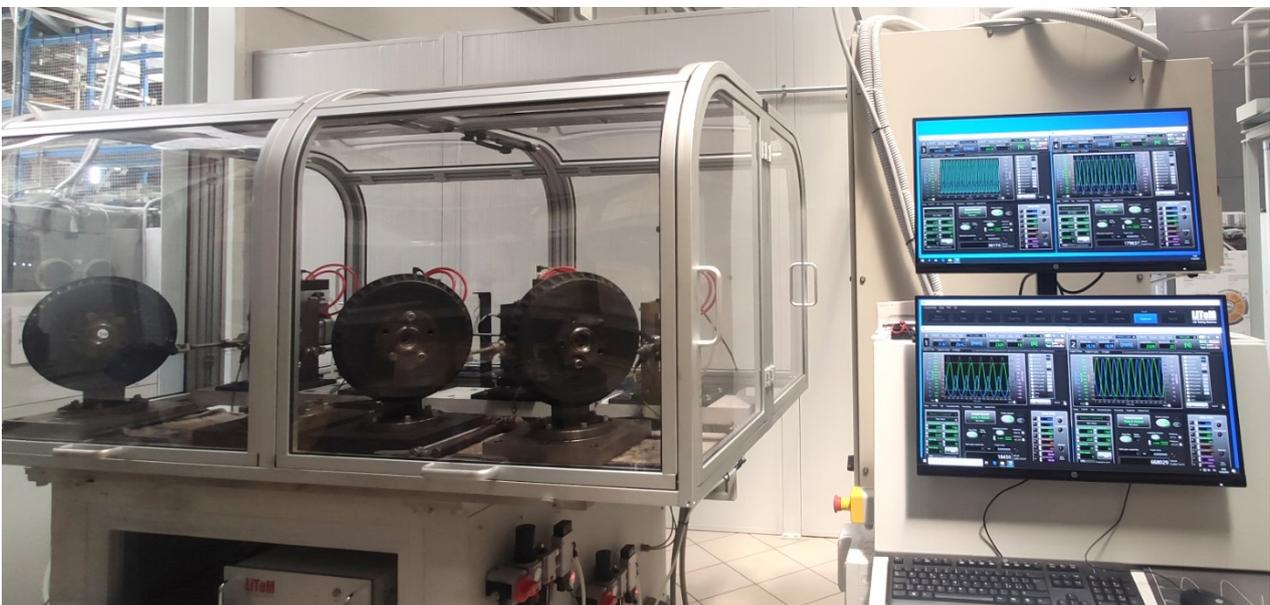
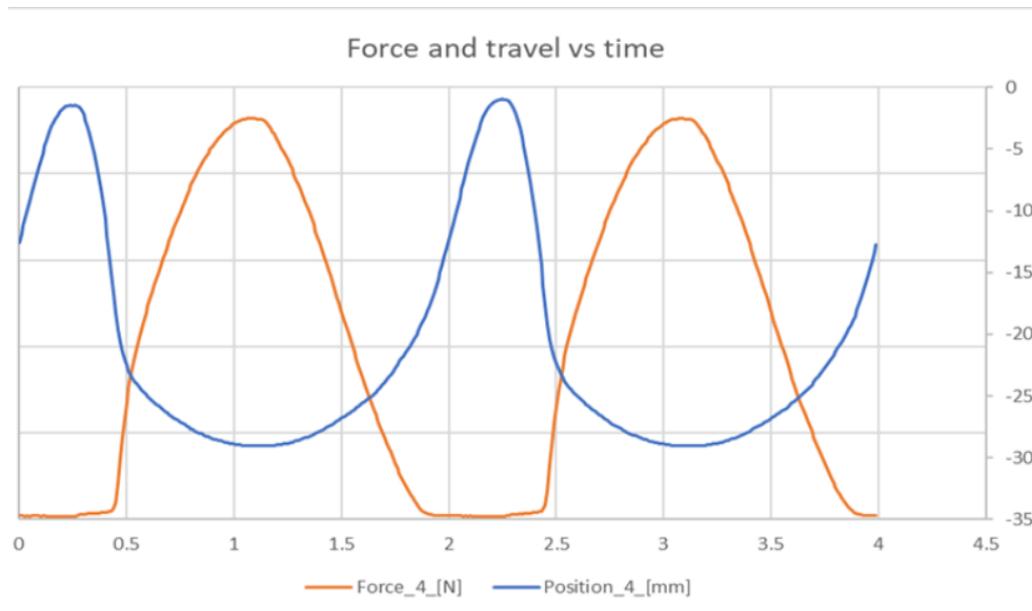


Figura 23 Banchi Prova

## 0.5 Hz

Sono stati svolti su n. 16 gruppi freno a tamburo Simplex (13LH + 3RH):

- FAM # 3: 3LH
- FAM # 4: 3LH
- FAM # 5: 5LH
- FAM # 6: 2LH + 3RH



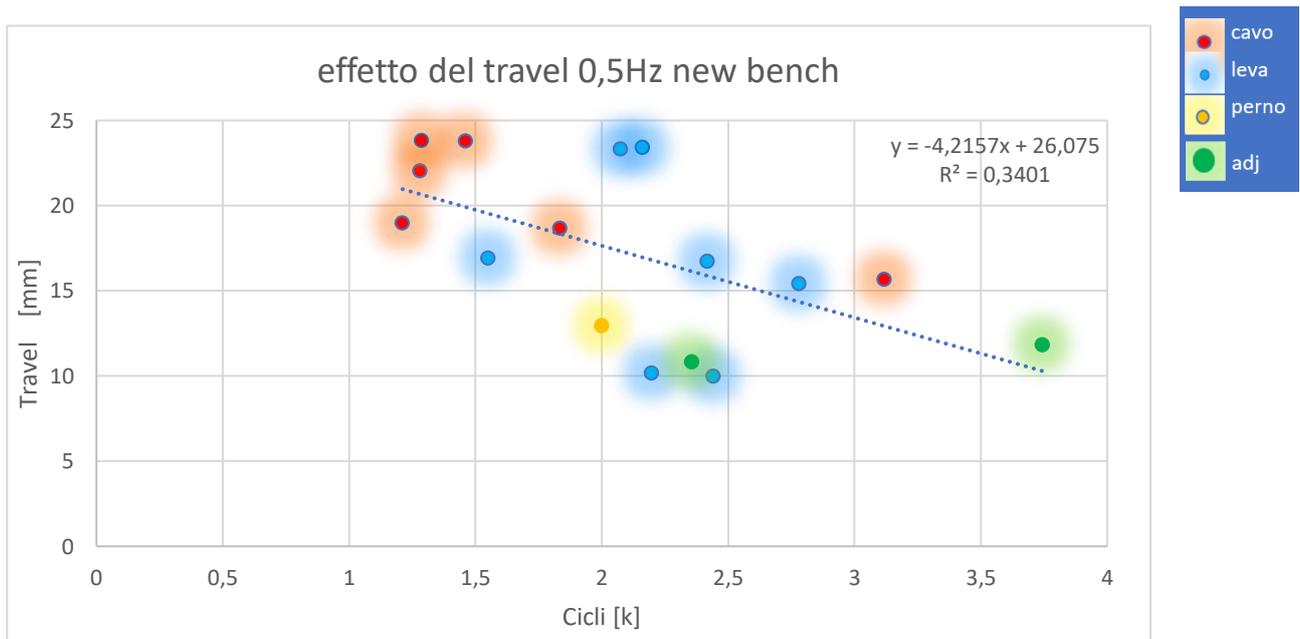
- La tabella sottostante mostra il riepilogo dei risultati del test. Il colore **ROSSO** rappresenta i componenti rotti. I dati mostrati sono stati normalizzati su un valore T, poiché sono dati sensibili per l'azienda Continental.

| Parameters           | <b>Load profile:</b><br>[F = ██████, Frequency: 0.5Hz @300K cycles (or breakage of both HBL & Cable)] |                    |                |                  |                |                        |                |                    |                |                  |                |                    |
|----------------------|---|--------------------|----------------|------------------|----------------|------------------------|----------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------|
| Test Bench ID        | FAM # 3   |                    |                |                  |                |                        | FAM # 4        |                    |                |                  |                |                    |
| Brake side           | LH  |                    |                |                  |                |                        | LH             |                    |                |                  |                |                    |
| Test ID              | 09121-02  |                    | 12621-02       |                  | 13121-03       |                        | 09121-03       |                    | 10621-03       |                  | 10521-02       |                    |
| Cycle covered (on T) | 5,9   |                    | 3,5            |                  | 4,1            |                        | 5,6            |                    | 4,0            |                  | 3,2            |                    |
| Part's description   | Cycles covered  | Remarks            | Cycles covered | Remarks          | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks            | Cycles covered | Remarks          | Cycles covered | Remarks            |
| Auto-adjuster        | 3,7<br>2,1  | Cross-struct<br>Ok | 3,5            | Cross-struct     | 4,1            | Ok                     | 5,1<br>0,5     | Cross-struct<br>Ok | 4              | Ok               | 2,4<br>0,8     | Cross-struct<br>Ok |
| HBL                  | 3,9<br>1,9  | Pin zone<br>Ok     | 1,8<br>1,7     | Ok<br>Ok         | 4,1            | Pin zone               | 2,4<br>3,2     | Pin zone<br>Ok     | 2,8<br>1,2     | Pin zone<br>Ok   | 2,4<br>0,8     | Middle<br>Ok       |
| HBL's riveting pin   | 3,9<br>1,9  | Ok<br>Ok           | 1,8            | Middle           | 4,1            | Ok                     | 2,4<br>3,2     | Ok<br>Ok           | 2,8<br>1,2     | Ok<br>Ok         | 3,2            | Ok                 |
| Cable                | 5,9   | Cable guide area   | 3,5            | Cable guide area | 1,2<br>3,0     | Cable guide area<br>Ok | 5,6            | Cable guide area   | 4,0            | Cable guide area | 3,2            | Cable guide area   |
| Backplate            |   |                    |                |                  |                |                        |                |                    |                |                  |                |                    |
| Leading shoe         |   |                    |                |                  |                |                        |                |                    |                |                  |                |                    |
| Trailing shoe        | 5,9   | Ok                 | 3,5            | Ok               | 4,1            | Ok                     | 5,6            | Ok                 | 4,0            | Ok               | 3,2            | Ok                 |
| Upper spring         |   |                    |                |                  |                |                        |                |                    |                |                  |                |                    |
| Lower spring         |   |                    |                |                  |                |                        |                |                    |                |                  |                |                    |

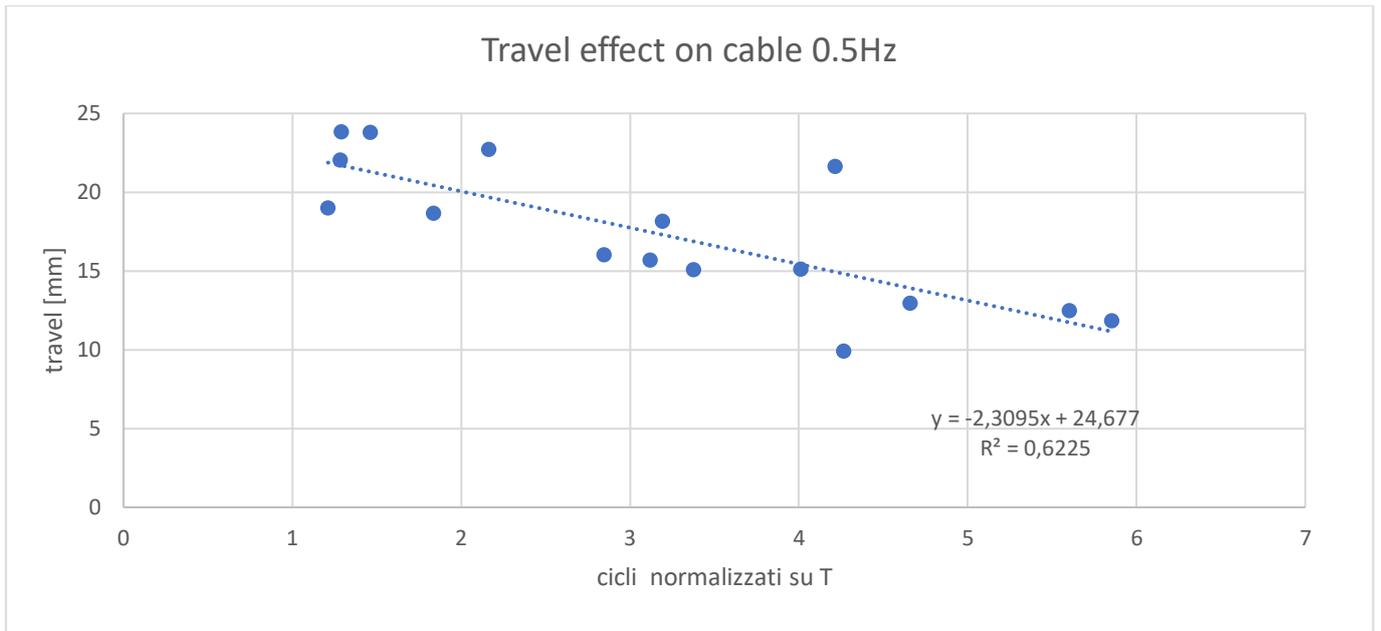
| Parameters           | <b>Load profile:</b><br>[F = [redacted], Frequency: 0.5Hz @300K cycles (or breakage of both HBL & Cable)] |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        |                |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |
|----------------------|---|------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|--------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|
| Test Bench ID        | FAM # 5   |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        | FAM # 6        |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |
| Brake side           | LH  |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        | RH             |                    |                |                        |                | LH               |                |                        |                |                  |
| Test ID              | 09821-07  |                  | 10621-06       |                        | 12121-06       |                  | 12721-02       |                        | 13221-02       |                        | 09121-04       |                    | 10321-06       |                        | 12421-01       |                  | 12821-02       |                        | 13221-03       |                  |
| Cycle covered (on T) | 4,3   |                  | 4,2            |                        | 4,2            |                  | 2,3            |                        | 3,8            |                        | 4,7            |                    | 3,5            |                        | 2,8            |                  | 2,1            |                        | 2,2            |                  |
| Part's description   | Cycles covered  | Remarks          | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks          | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks            | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks          | Cycles covered | Remarks                | Cycles covered | Remarks          |
| Auto-adjuster        | 4,3   | Ok               | 4,2            | Cross-struct           | 4,2            | Ok               | 2,3            | Ok                     | 3,8            | Ok                     | 3,0<br>1,7     | Cross-struct<br>Ok | 2,4<br>1,1     | Cross-struct<br>Ok     | 2,8            | Ok               | 2,1            | Ok                     | 2,2            | Ok               |
| HBL                  | 2,2<br>2,1  | Pine zone<br>Ok  | 4,2            | Pine zone              | 2,2<br>2,1     | Pine zone<br>Ok  | 2,3            | Pine zone              | 3,8            | Pine zone              | 3,0<br>1,7     | Pin zone<br>Ok     | 3,5            | Ok                     | 1,6<br>1,3     | Middle<br>Ok     | 2,1            | Pin zone               | 2,1<br>-       | Pin zone<br>Ok   |
| HBL's riveting pin   | 2,2<br>2,1  | Ok               | 4,2            | Middle                 | 4,2            | Ok               | 2,3            | Ok                     | 3,8            | Ok                     | 3,0<br>1,7     | Middle<br>Ok       | 3,5            | Middle                 | 1,6<br>1,3     | Ok<br>Ok         | 2,1            | Ok                     | 2,1<br>-       | Ok<br>Ok         |
| Cable                | 4,3   | Cable guide area | 3,1<br>1,1     | Cable guide area<br>Ok | 4,2            | Cable guide area | 1,5<br>0,8     | Cable guide area<br>Ok | 1,3<br>2,5     | Cable guide area<br>Ok | 4,7            | Cable guide area   | 3,4            | Cable guide area<br>Ok | 2,8            | Cable guide area | 1,3<br>0,8     | Cable guide area<br>Ok | 2,2            | Cable guide area |
| Backplate            |   |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        |                |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |
| Leading shoe         |   |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        |                |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |
| Trailing shoe        | 4,3   | Ok               | 4,2            | Ok                     | 4,2            | Ok               | 2,3            | Ok                     | 3,8            | Ok                     | 4,7            | Ok                 | 3,5            | Ok                     | 2,8            | Ok               | 2,1            | Ok                     | 2,2            | Ok               |
| Upper spring         |   |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        |                |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |
| Lower spring         |   |                  |                |                        |                |                  |                |                        |                |                        |                |                    |                |                        |                |                  |                |                        |                |                  |

## Conclusioni

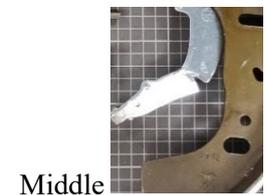
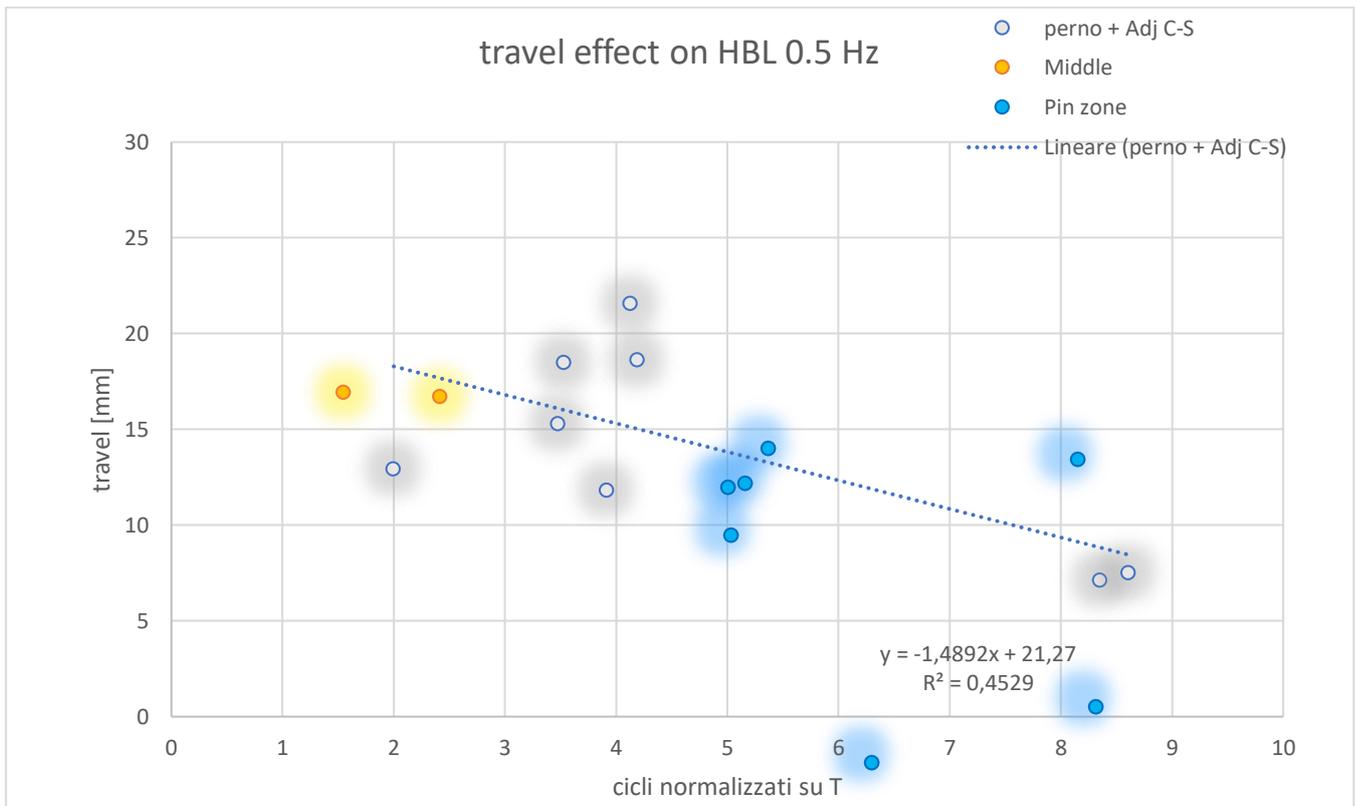
Il grafico delle prime rotture di ogni prova e relativo componente del freno guasto:



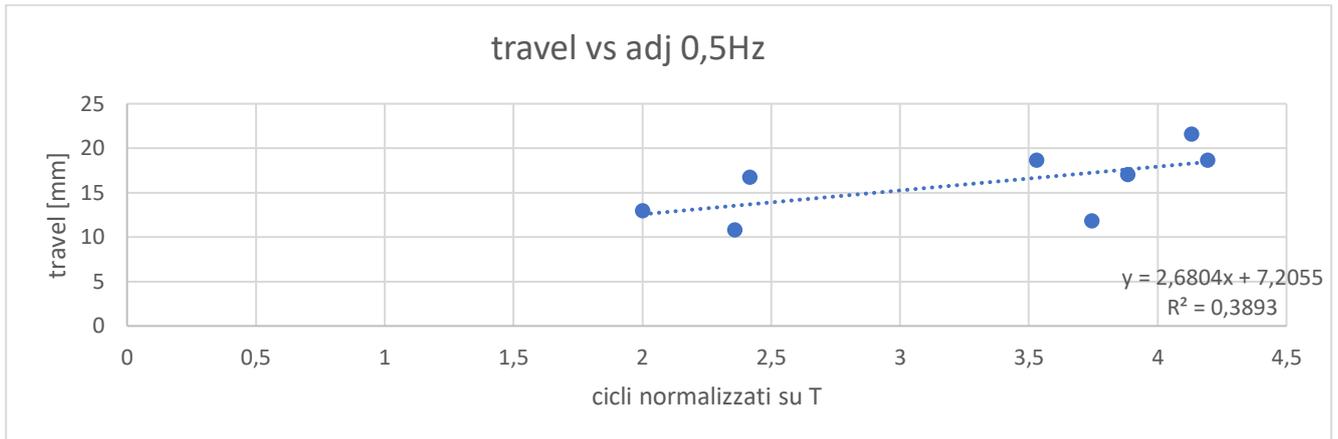
Sembra che la durata del freno sia inversamente proporzionale alla corsa del cavo. L'effetto viaggio è più evidente sul cavo nel grafico seguente:



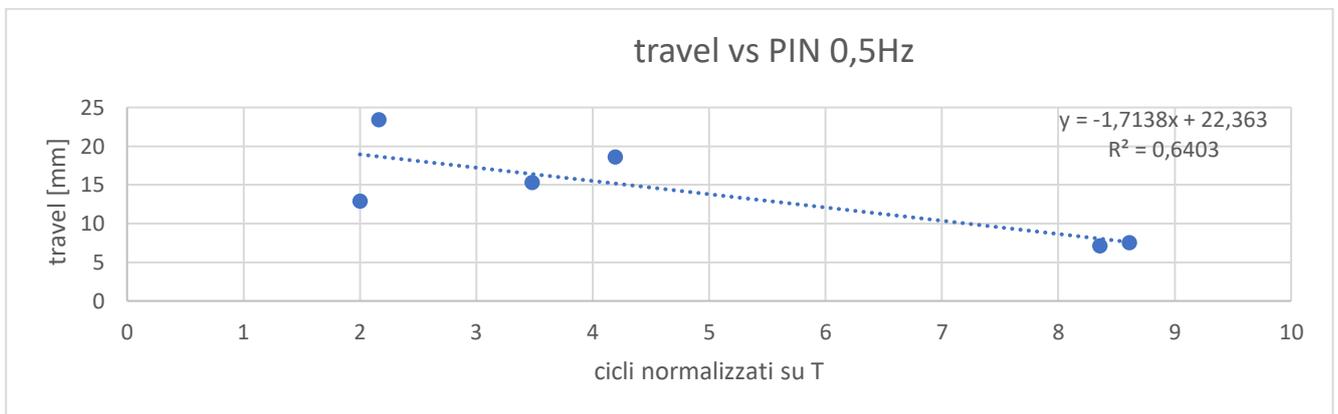
Il comportamento dell'HBL non è influenzato dalla corsa: non c'è correlazione tra i guasti della leva e la corsa del cavo. I componenti che hanno avuto maggiore vita hanno poi portato anche alla rottura dell'adj nel cross-struct.



Le rotture dell'autoregistro mostrano questa seguente tendenza e un basso livello di correlazione rispetto alla corsa del cavo.



Le rotture del perno rivettato del HBL mostrano questa seguente tendenza con una buona correlazione:

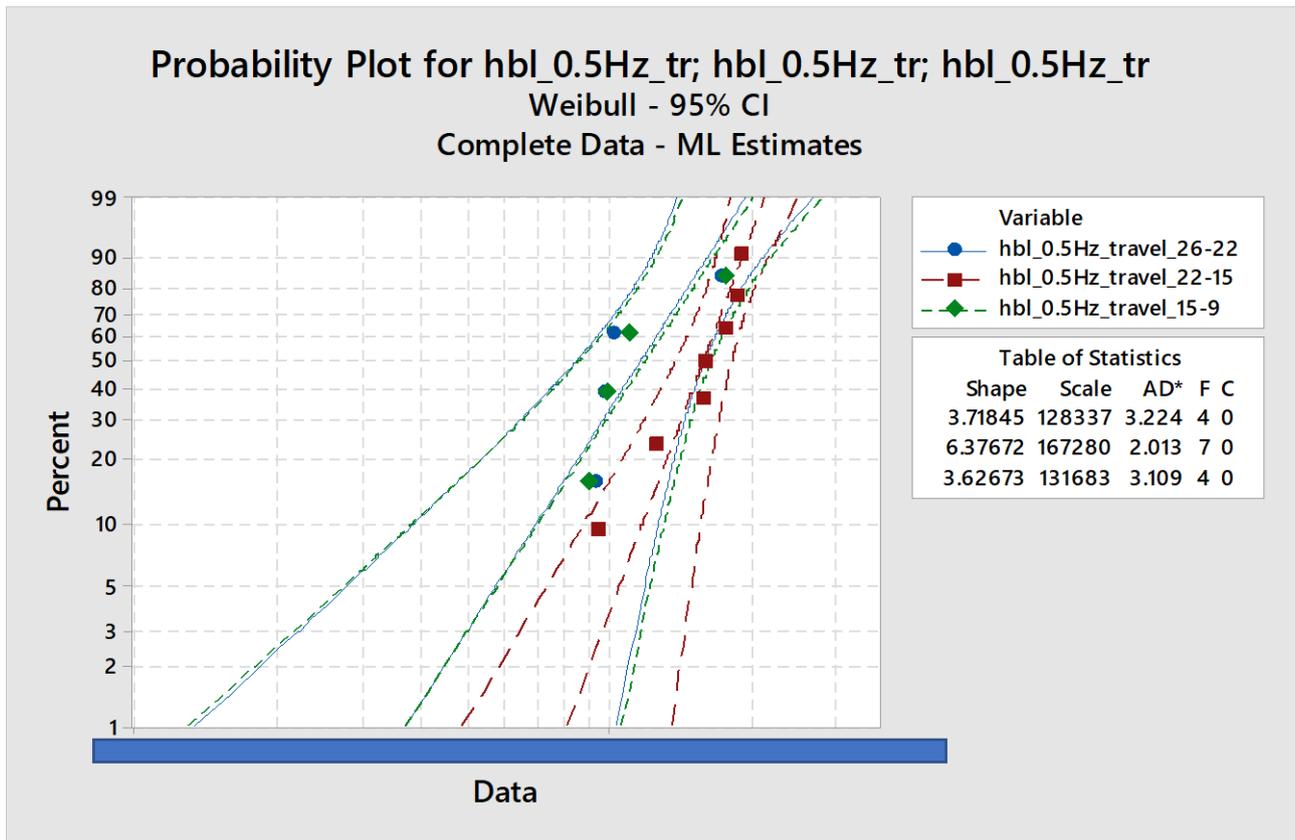


Le tabelle seguenti mostrano i cicli di rottura per HBL e cavo, considerati affidabili perché non alterati da fattori esterni: si tratta di valori normalizzati su un valore T.

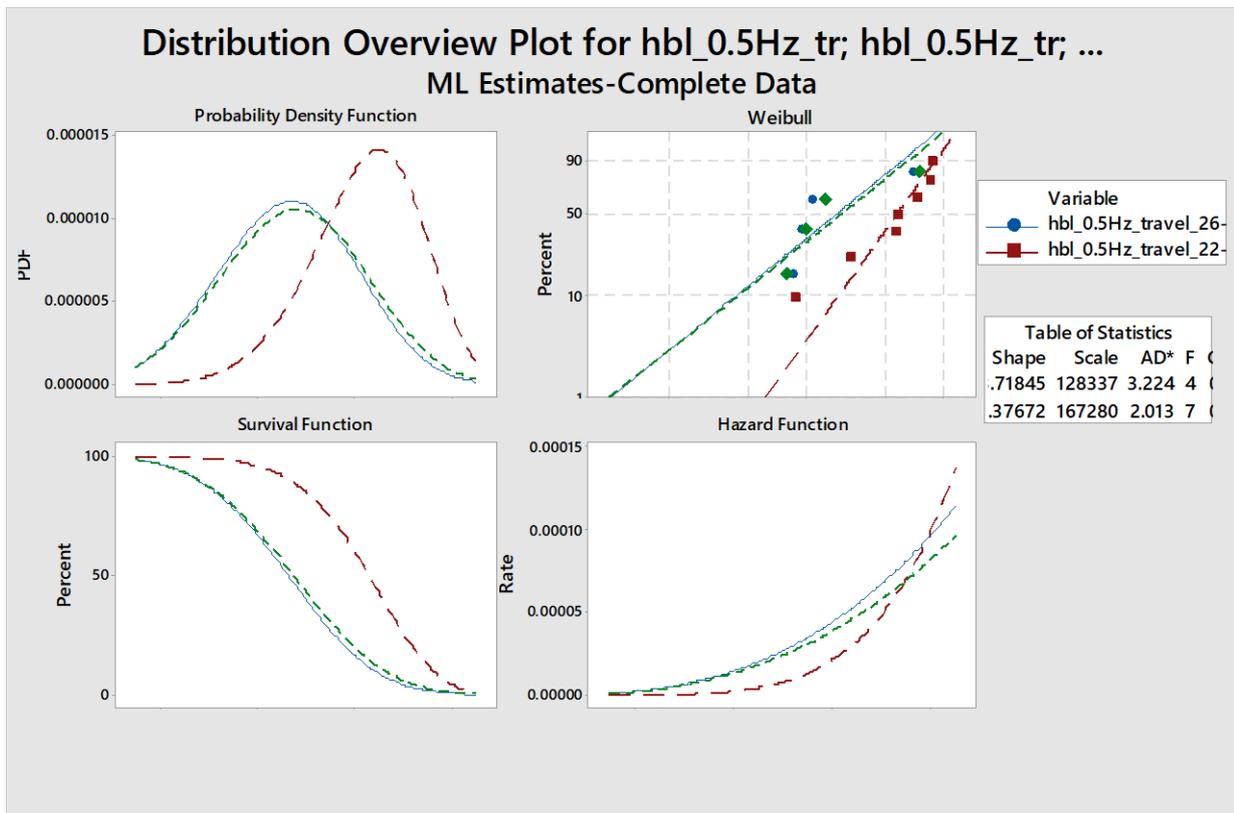
| HBL Samples\travel | 26-22 [mm] | 22-15 [mm] | 15-9 [mm] |
|--------------------|------------|------------|-----------|
| 1                  | 1,46       | 3,19       | 5,85      |
| 2                  | 1,28       | 4,01       | 5,60      |
| 3                  | 2,16       | 3,12       | 4,26      |
| 4                  | 1,29       | 3,38       | 4,66      |
| 5                  |            | 4,21       |           |
| 6                  |            | 2,85       |           |
| 7                  |            | 1,84       |           |

| Cable samples\ travel | 26-22 [mm] | 22-15 [mm] | 15-9 [mm] |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| 1                     | 3,80       | 4,19       | 3,92      |
| 2                     | 2,16       | 3,48       | 2,44      |
| 3                     | 2,27       | 3,53       | 2,20      |
| 4                     | 2,08       | 2,09       | 2,00      |
| 5                     |            | 4,13       |           |
| 6                     |            | 3,88       |           |
| 7                     |            | 2,78       |           |

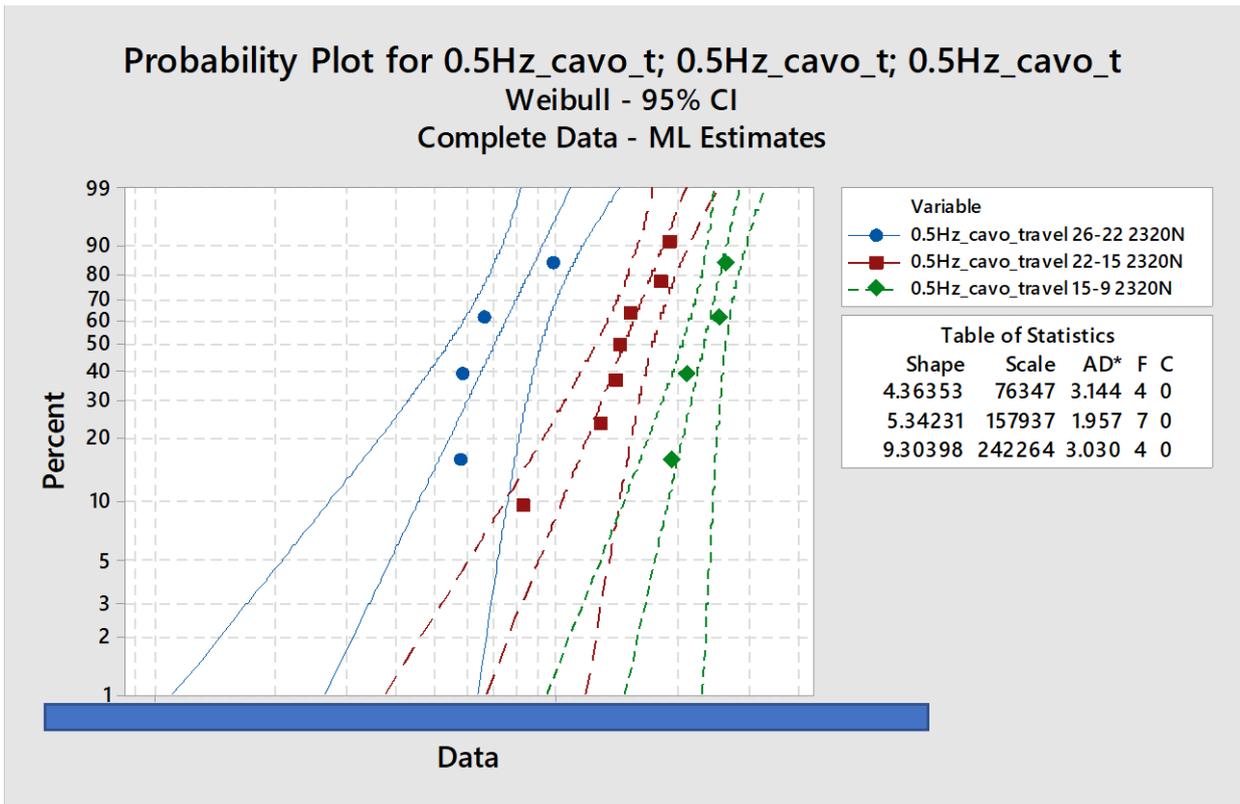
I seguenti grafici mostrano la curva di Weibull, che ci fornisce maggiori informazioni sulle quali possiamo fare alcune considerazioni.



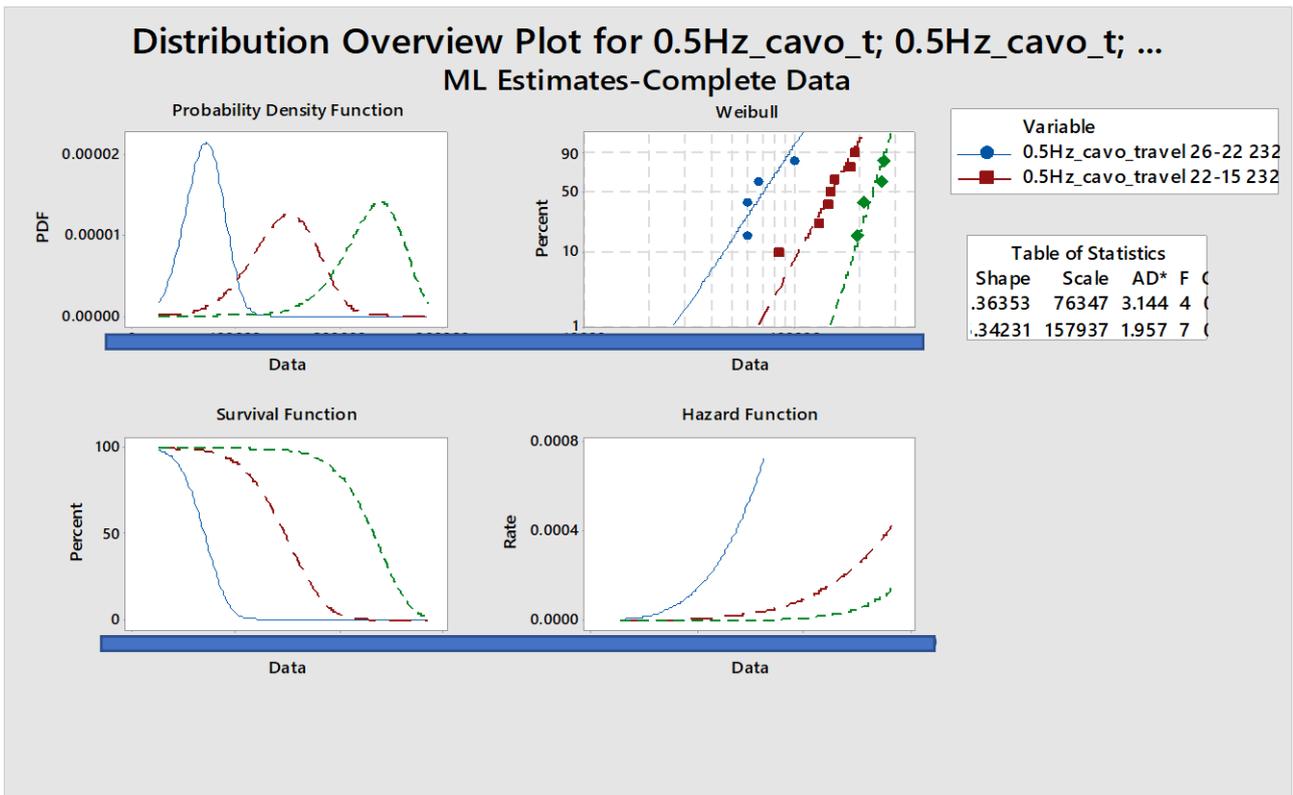
Quindi, la corsa media (15~22) mm per HBL offre risultati migliori rispetto alla corsa breve e lunga



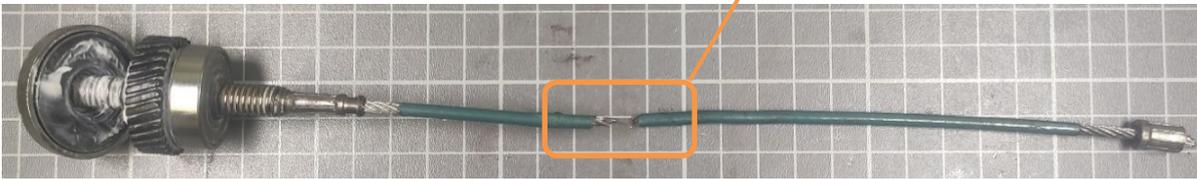
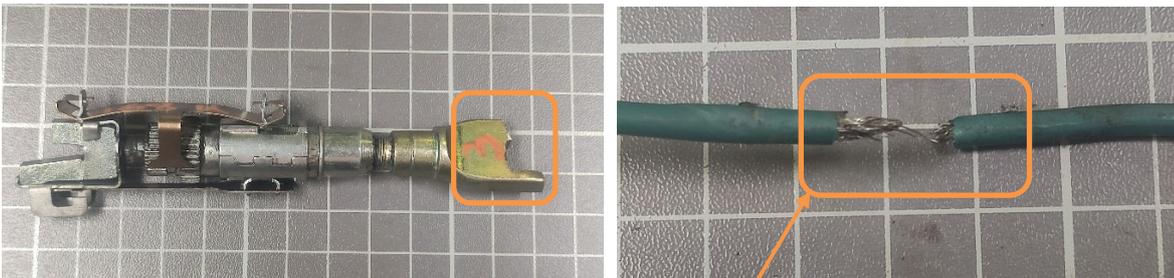
Mentre qui sotto vediamo che la durata del cavo è inversamente proporzionale alla corsa.



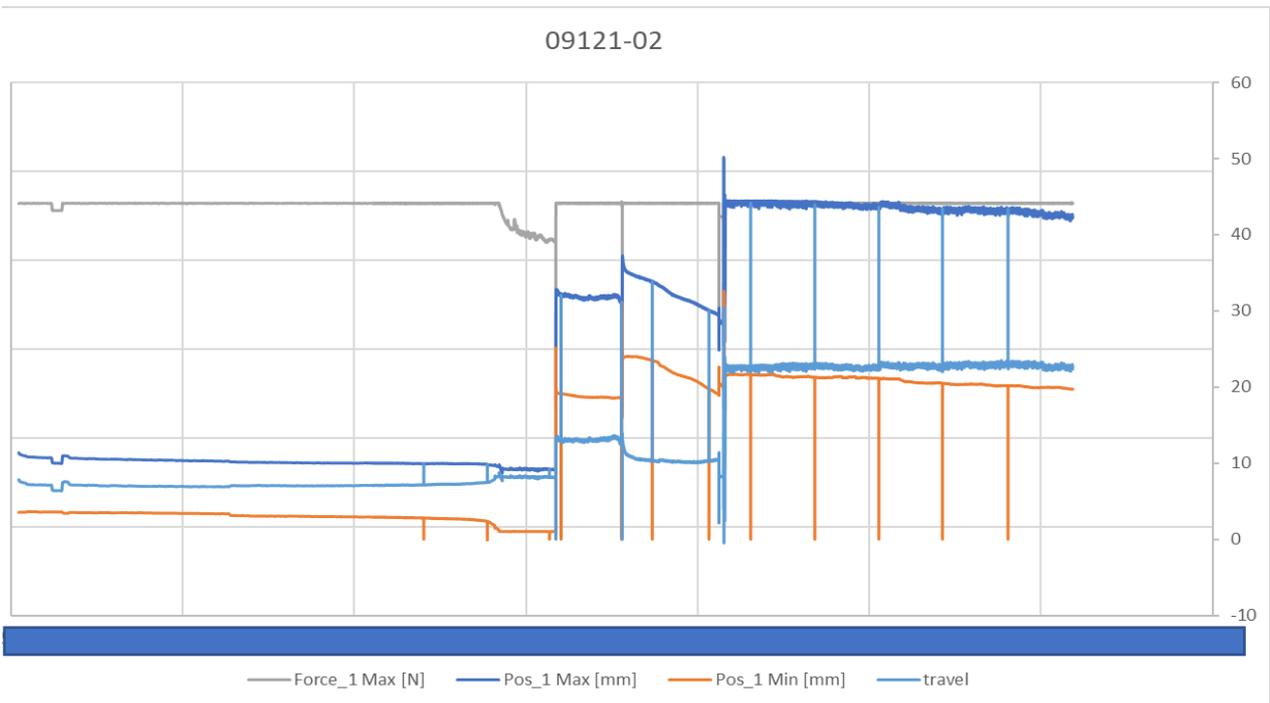
Il PDF mostra chiaramente la diversa durata per le tre configurazioni:



**Sample-1: (Test ID # 09121-02, LH side, FAM#3)**



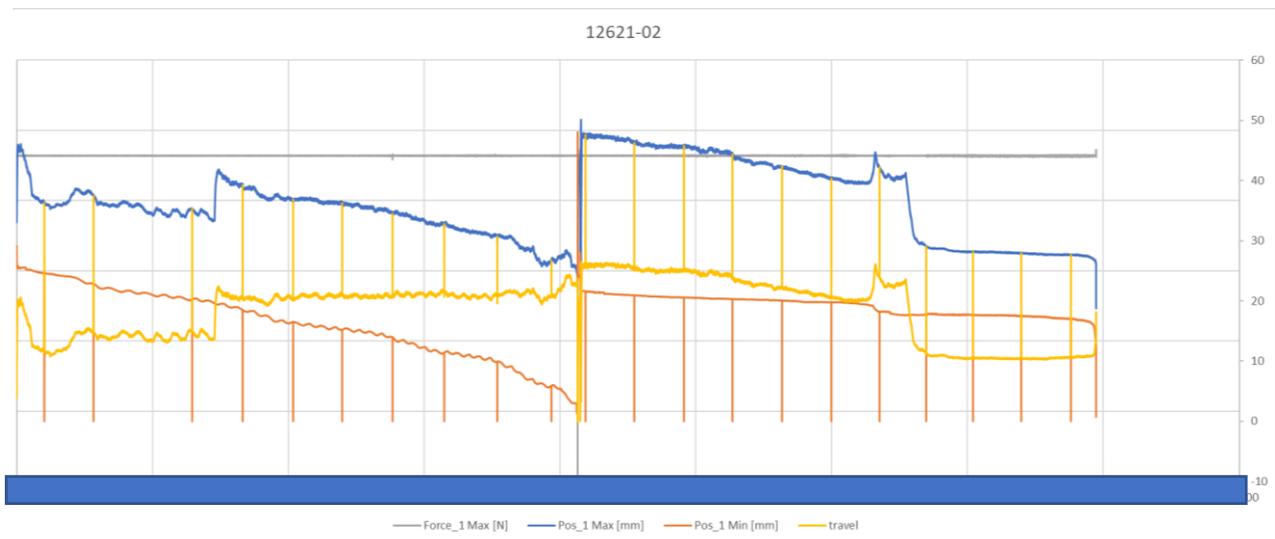
Parte dell'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto. Durante questi test si è notato che l'adj tende a chiudersi.  
- In questo test la rotazione dell'adj non è stata inibita. La corsa media era di 11,8 mm.



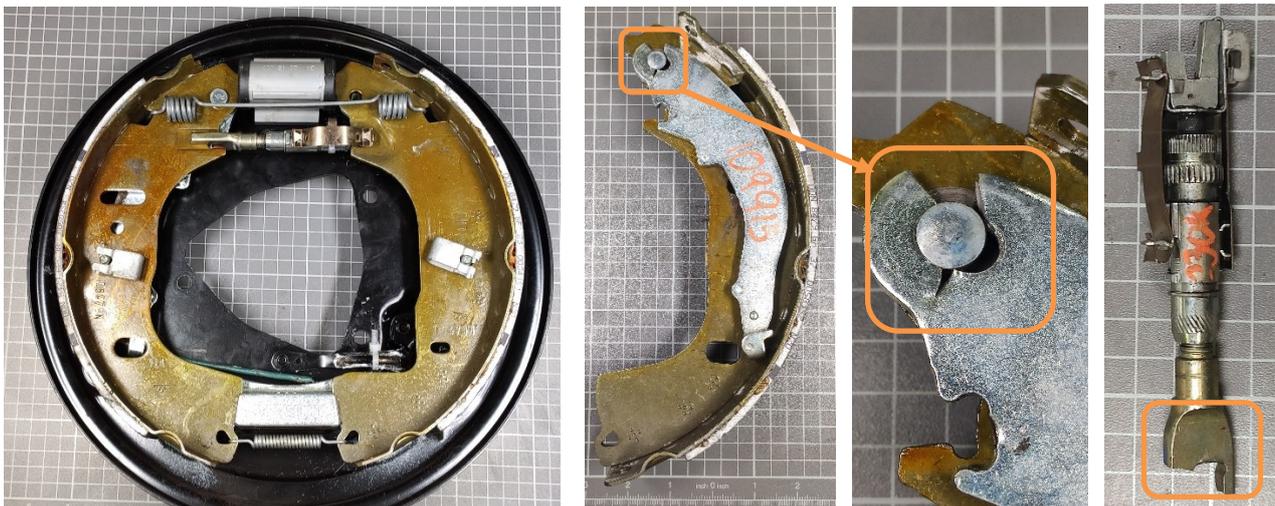
**Sample-2: (Test ID # 12621-02, LH side, FAM#3)**

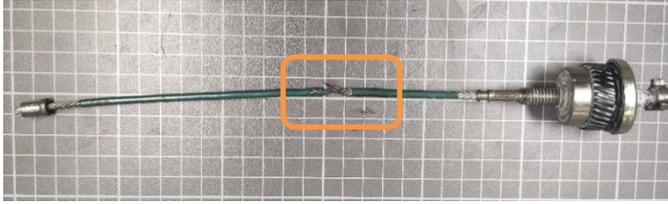


In questo test la rotazione dell'adj non è stata inibita. L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:

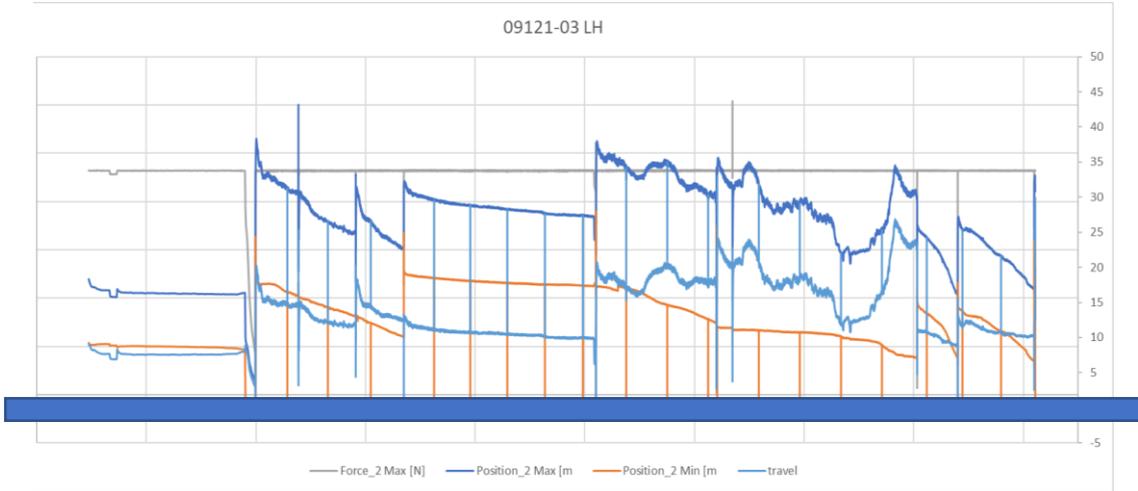


**Sample-3: (Test ID # 09121-03, LH side, FAM#4)**





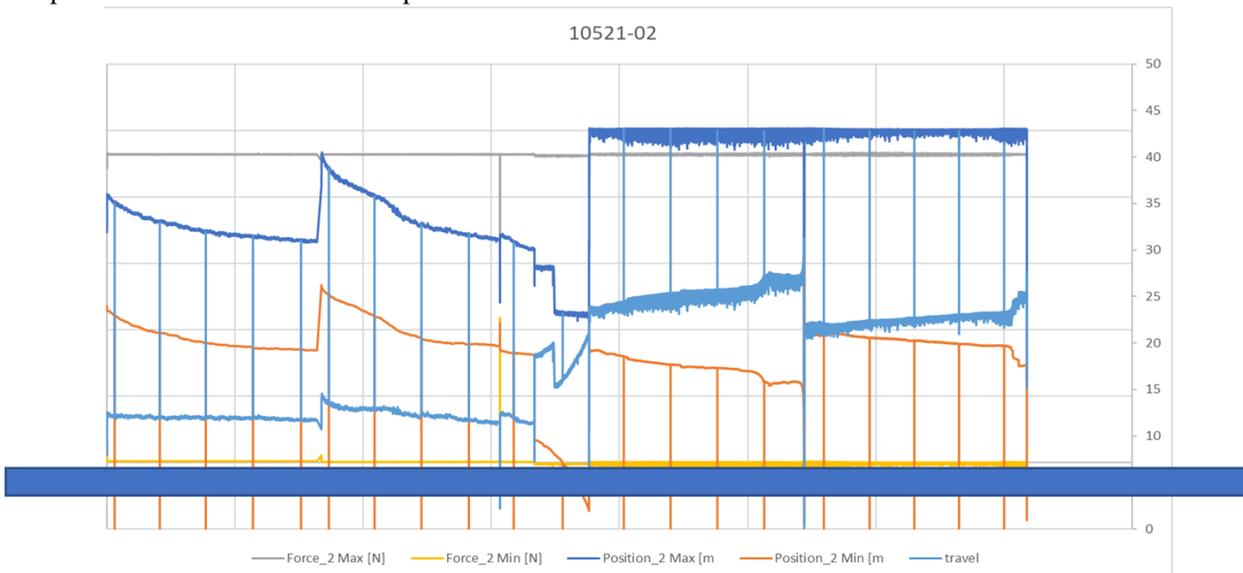
Parte dell'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto. Durante questi test si è notato che l'adj tende a chiudersi.  
 - In questo test la rotazione dell'adj non è stata inibita. La corsa media era di 11,8 mm.



**Sample-4: (Test ID # 10521-02, LH side, FAM#3 → FAM#4)**



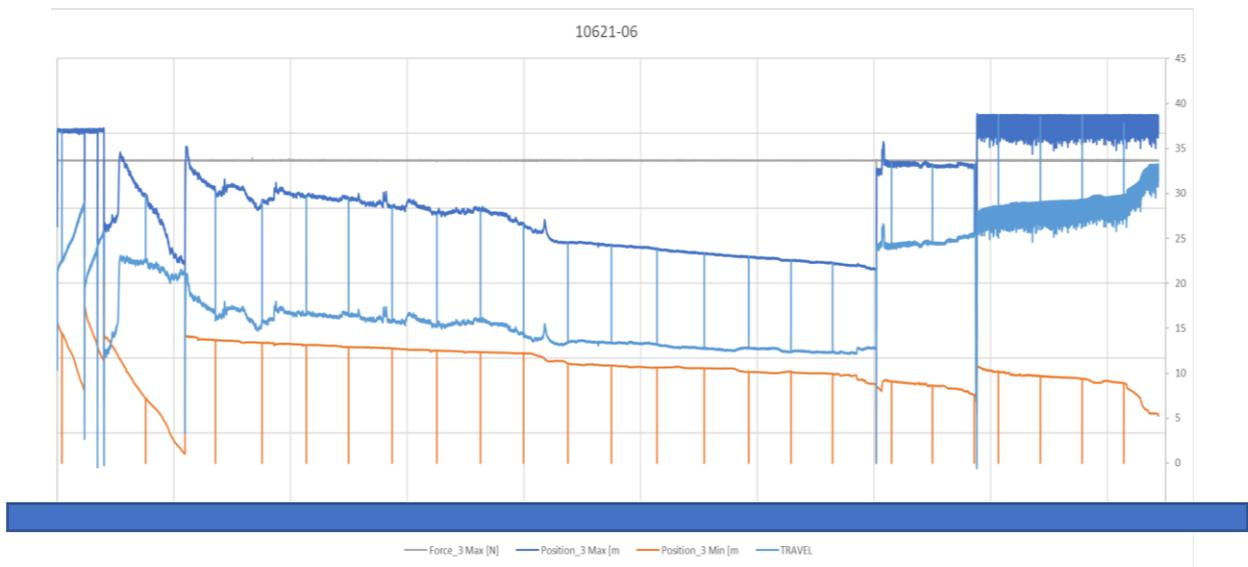
L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:



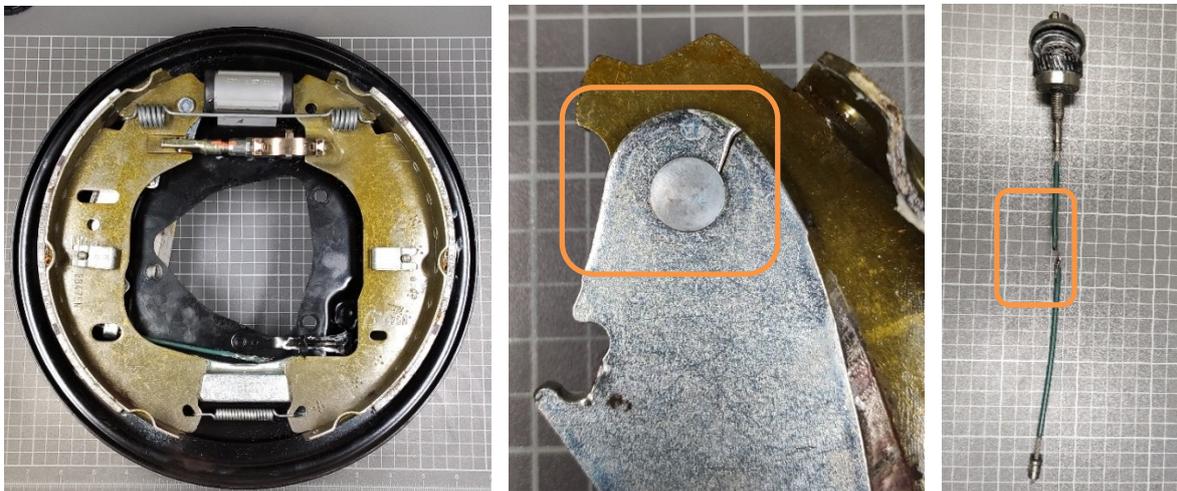
**Sample-5: (Test ID # 10621-03, LH side, FAM#4)**



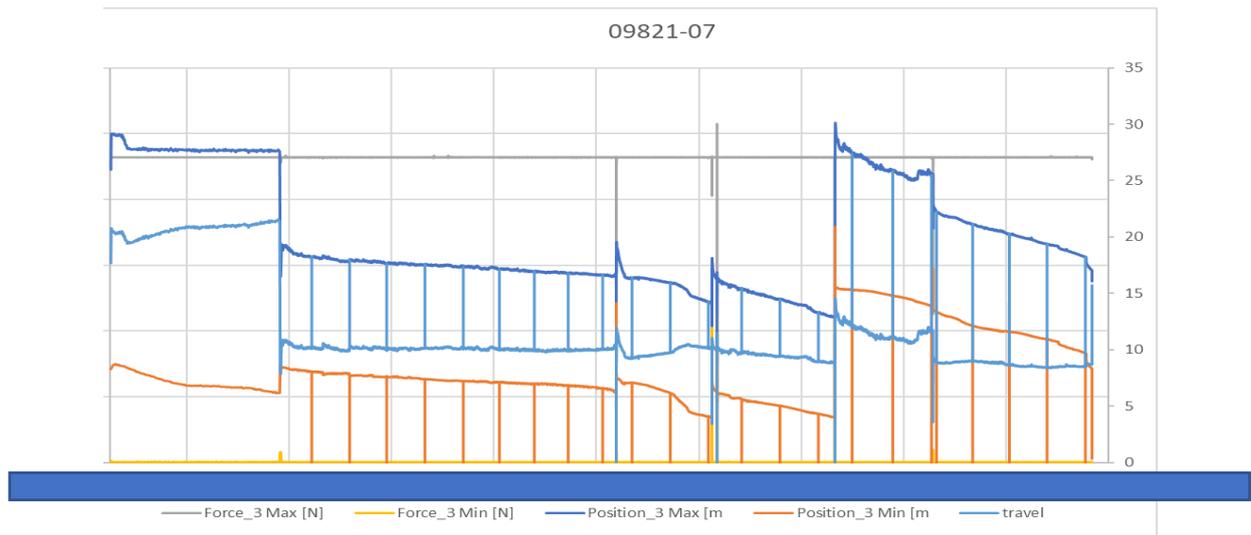
L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:



**Sample-6: (Test ID # 09821-07, LH side, FAM#5)**



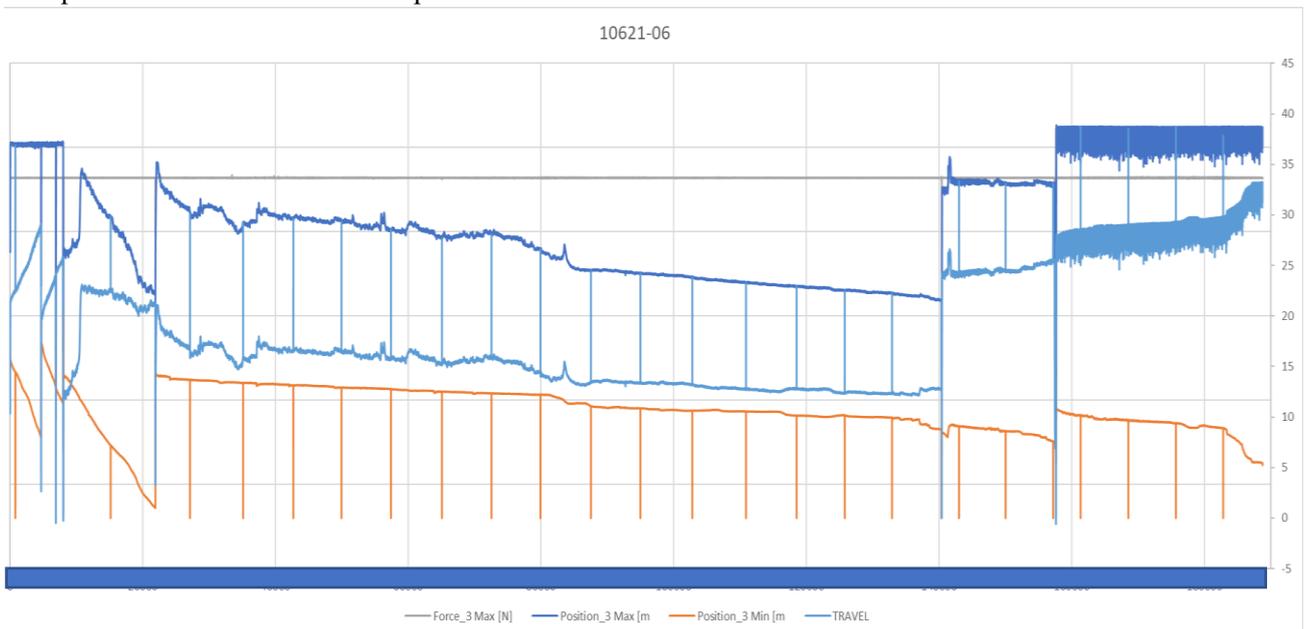
In questo test la rotazione dell'adj non è stata inibita. Parte dell'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto.



### Sample-7: (Test ID # 10621-06, LH side, FAM#5)



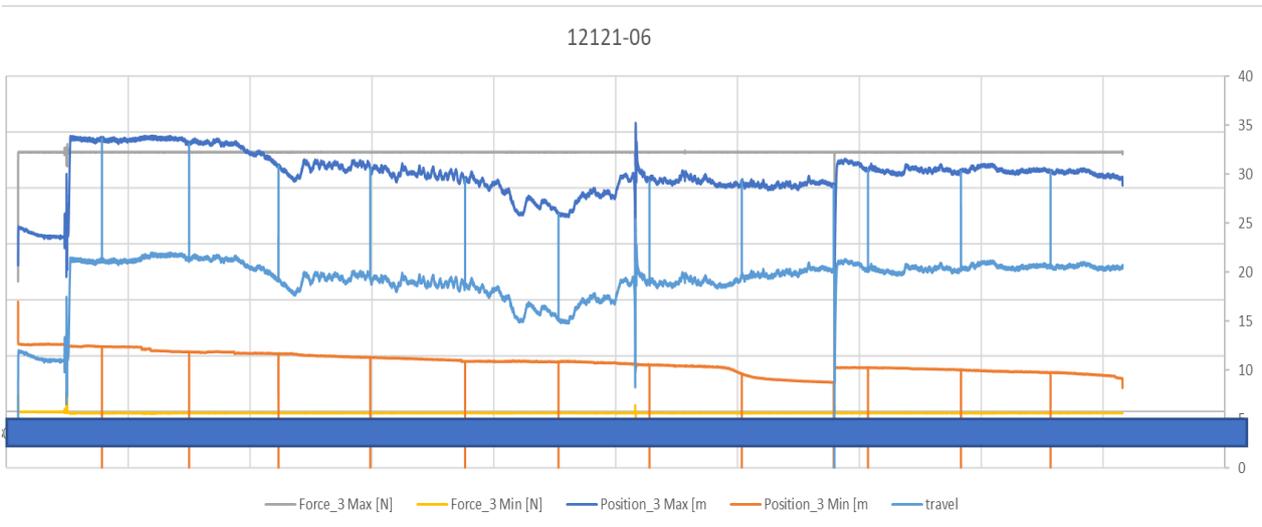
L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:



**Sample-8: (Test ID # 12121-06, LH side, FAM#5)**



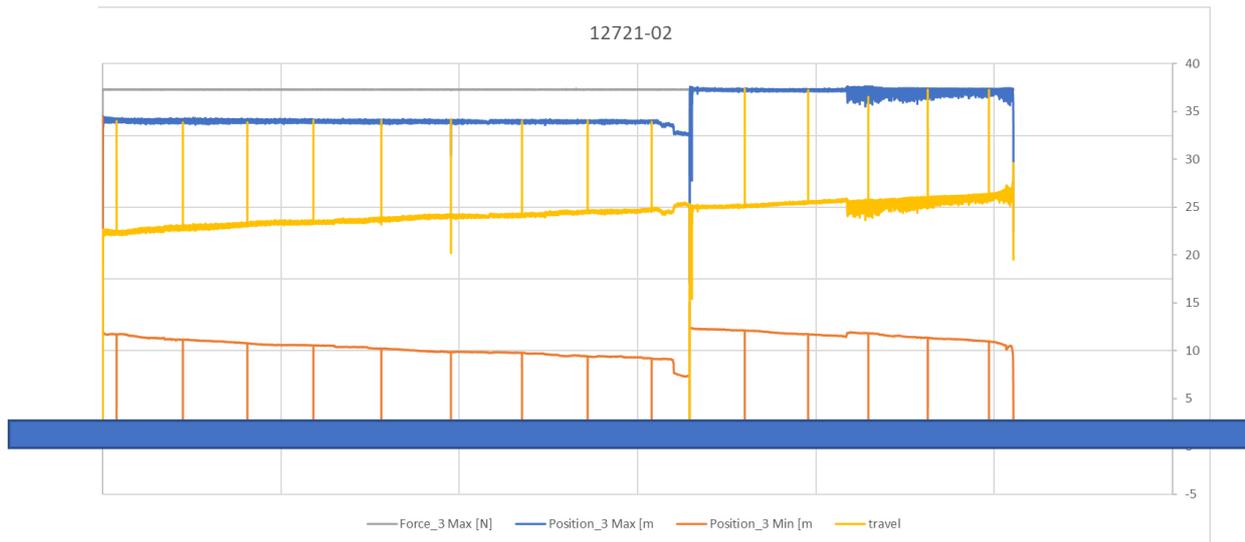
L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:



**Sample-9: (Test ID # 12721-02, LH side, FAM#5)**



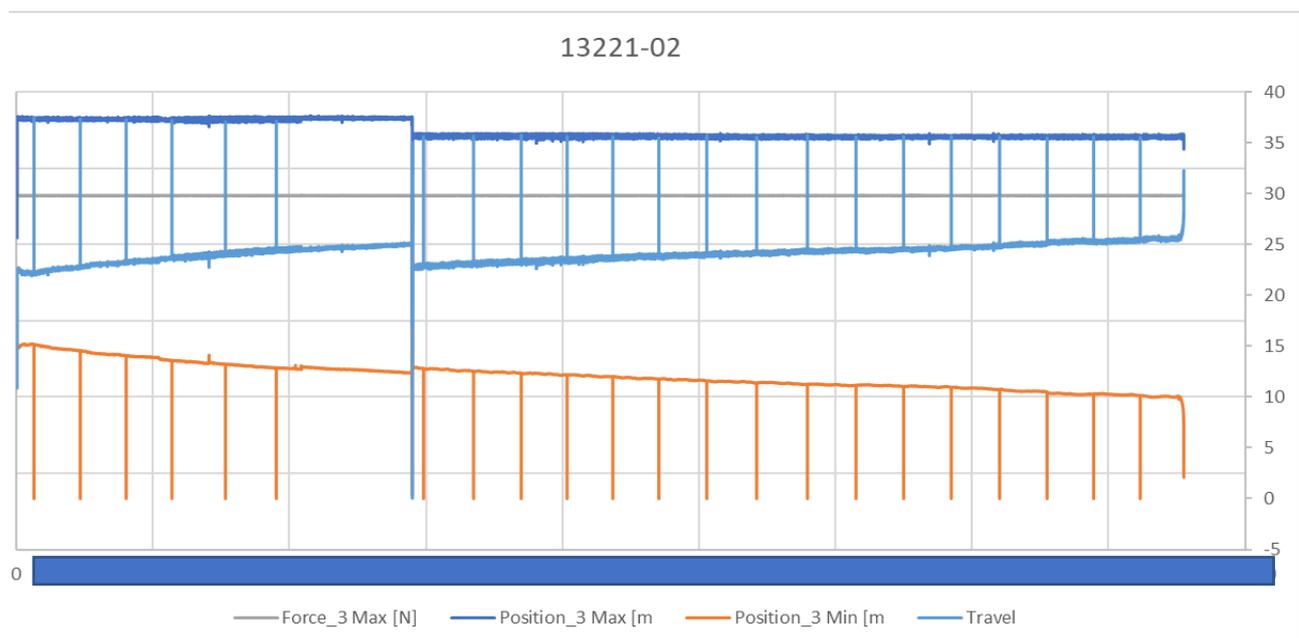
L'acquisizione storica del test è mostrata qui di seguito:



**Sample-10: (Test ID#13221-02, LH side, FAM#5)**



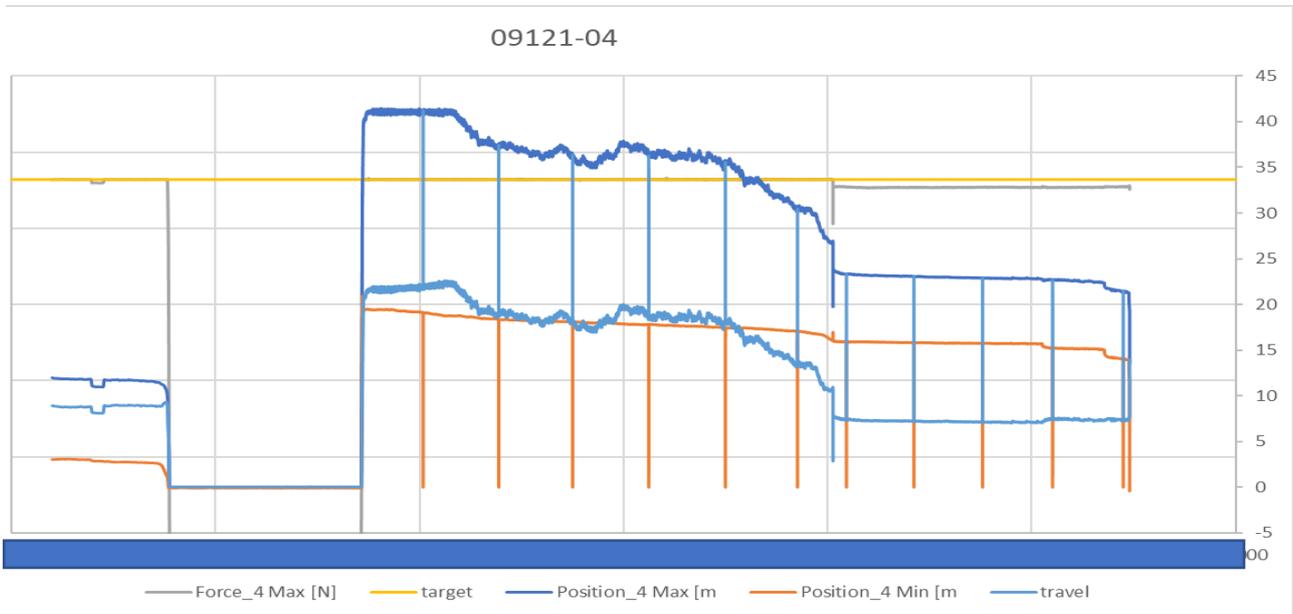
L'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto:



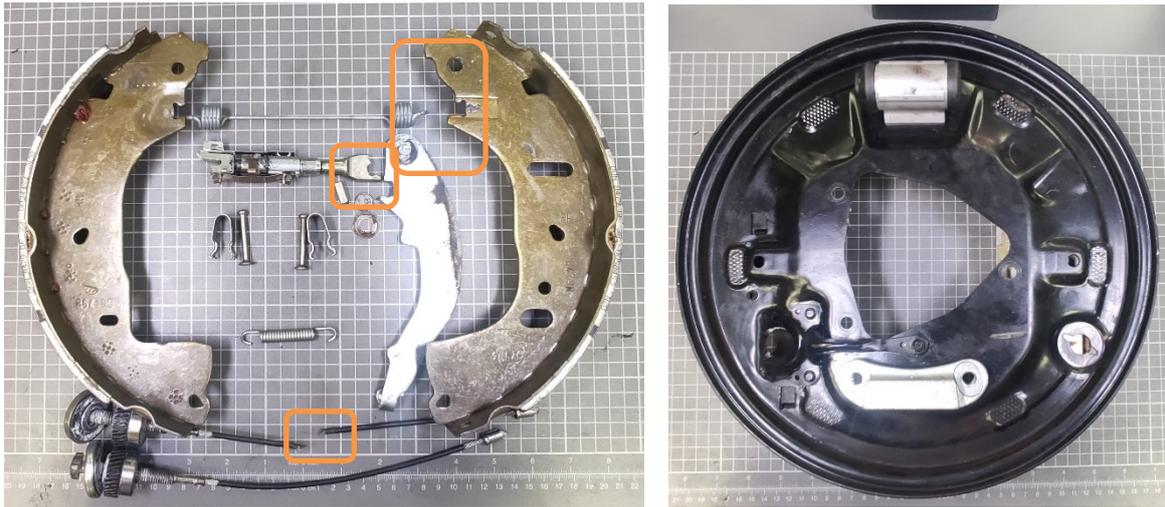
**Sample-11: (Test ID # 09121-04, RH side, FAM#6)**



Parte dell'acquisizione dei dati è mostrata qui sotto. Durante questi test si è notato che l'adj tende a chiudersi. In questo test la rotazione dell'adj non è stata inibita. Per un certo tot di cicli non è stato raggiunto il carico massimo.

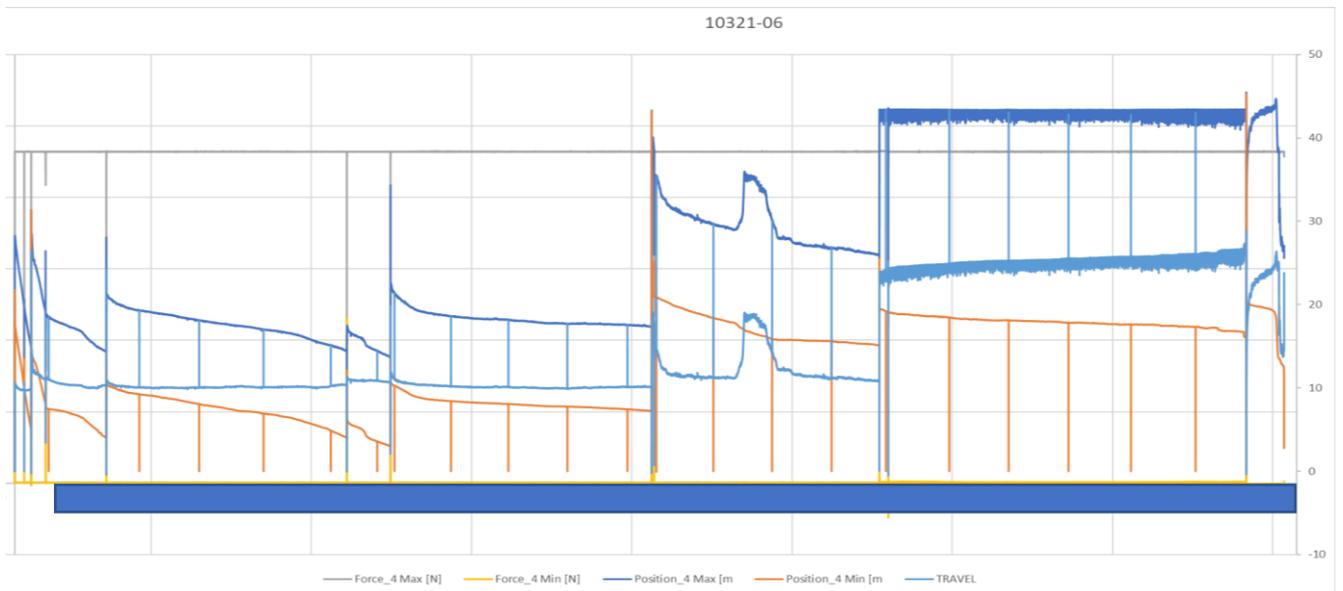


**Sample-12: (Test ID # 10321-06, RH side, FAM#6 → FAM#3)**



I dati acquisiti sono riportati di seguito:

- E' stato fermato per inibire la rotazione del registro.
- È stato fermato per eseguire il test sul freno dalla linea di produzione.
- Si è riavviato su FAM#3.



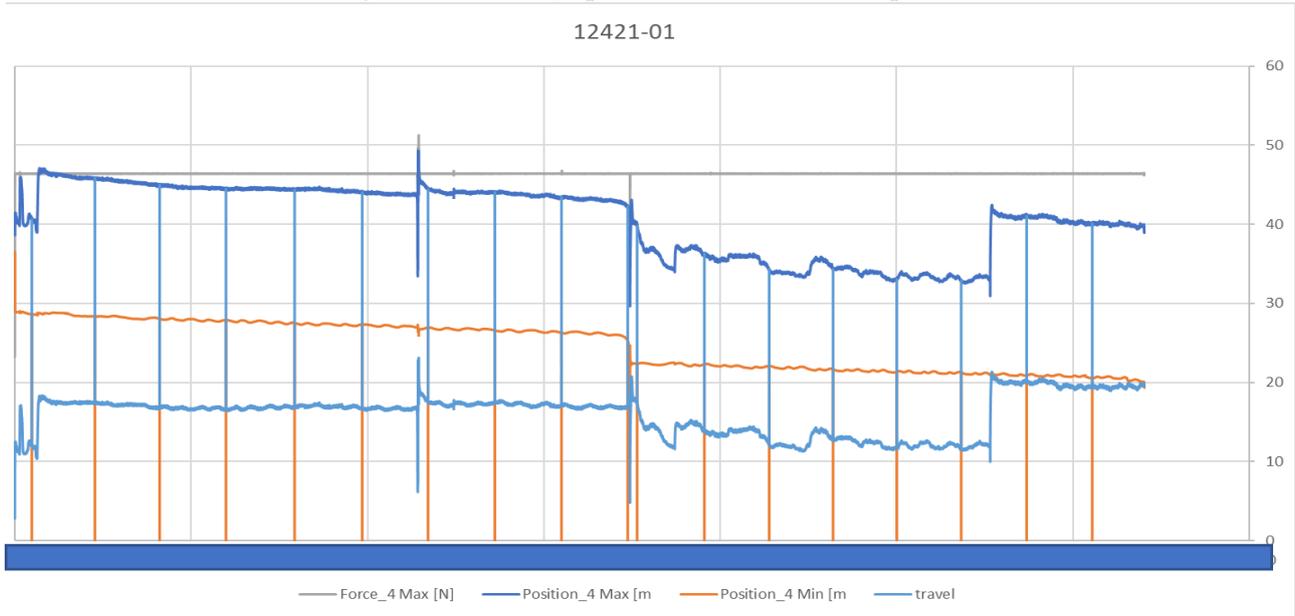
**Sample-13: (Test ID # 12421-01, RH side, FAM#6)**



I dati acquisiti sono riportati di seguito:

-Il cavo è stato deformato dal guasto dell'HBL, e potrebbe essere il motivo per cui è durato meno.

12421-01

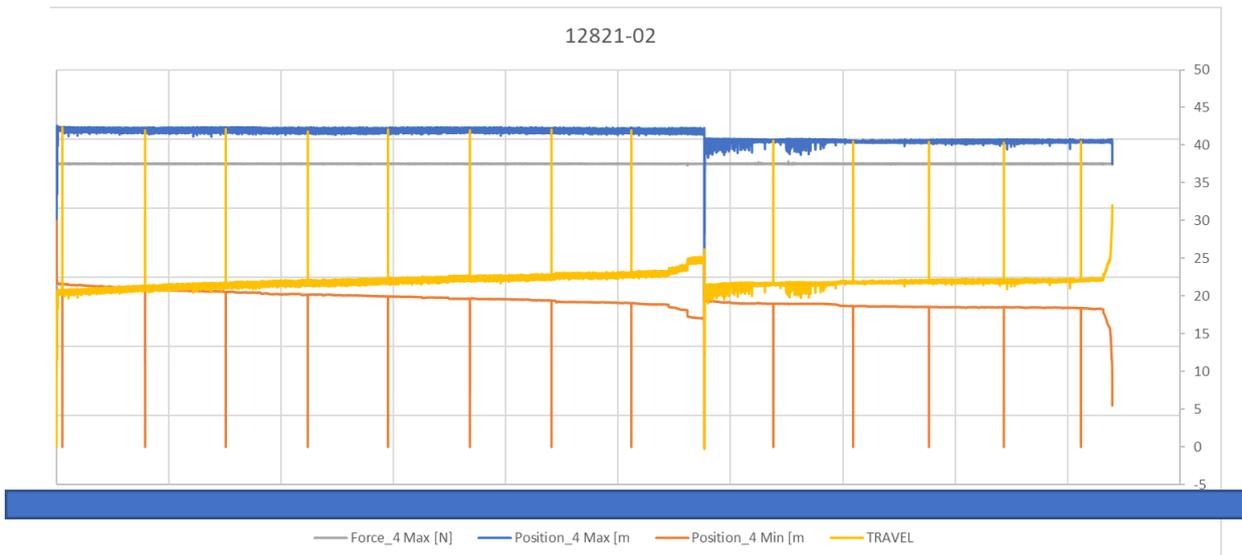


**Sample-14: (Test ID # 12821-02, LH side, FAM#6)**



I dati acquisiti sono riportati di seguito:

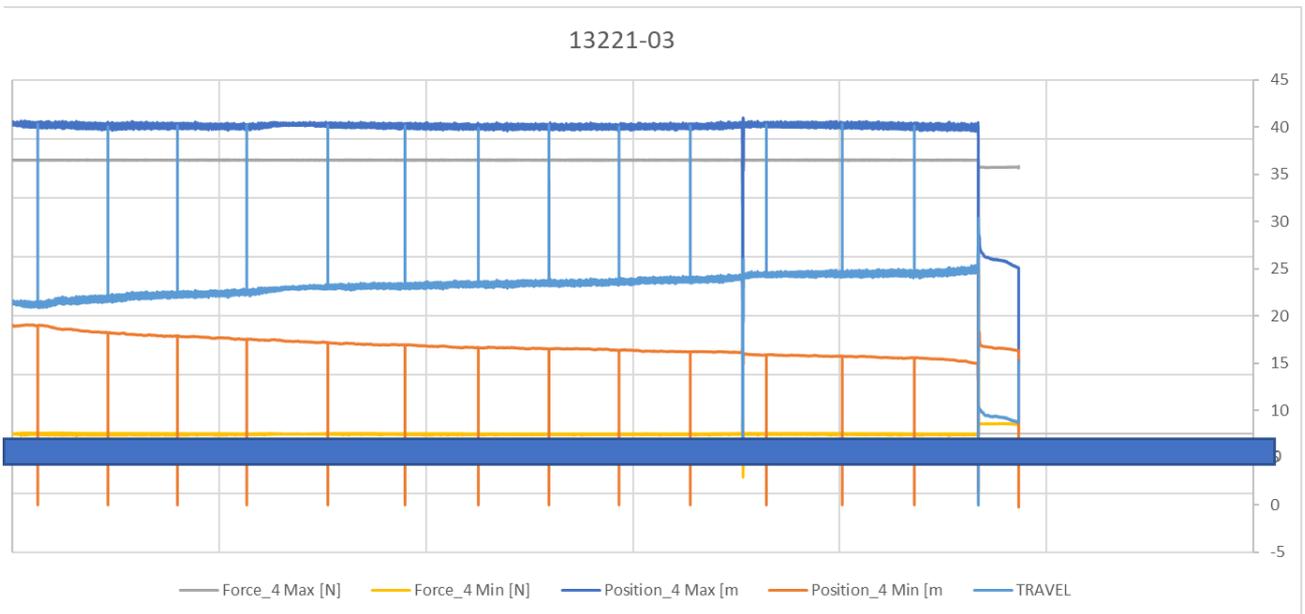
12821-02



**Sample-15: (Test ID # 13221-03, LH side, FAM#6)**



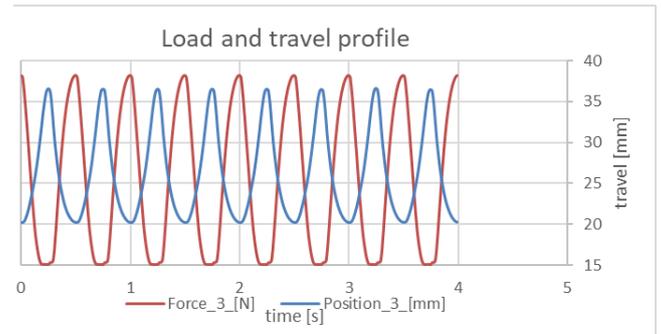
I dati acquisiti sono riportati di seguito:



## 2 Hz

Sono stati svolti su n. 16 gruppi freno a tamburo Simplex (14LH + 7RH):

- FAM # 3: 3LH
- FAM # 4: 7RH
- FAM # 5: 3LH
- FAM # 6: 8LH

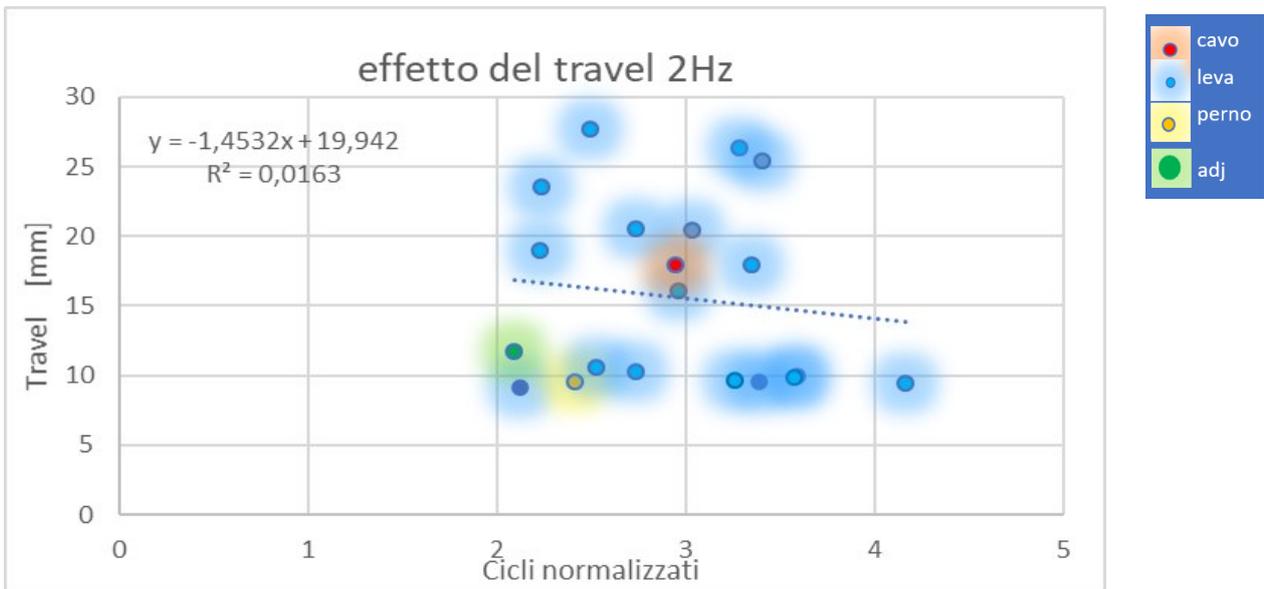


- La tabella sottostante mostra il riepilogo dei risultati del test.

| T. ID.   | Test Bench | Brake type | Total Cycles covered (in K) | Travel (mm) |      |      | Type of failure                 |                          |                     |
|----------|------------|------------|-----------------------------|-------------|------|------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
|          |            |            |                             | Media       | Max. | Min. | HBL cycles (in K)               | ADJ cycles (in K)        | CABLE cycles (in K) |
| 13821-02 | HBL #3     | LH         | 4,7                         | 19,39       | 27   | 10   | 3,0<br>1,7                      | ---                      | 4,7                 |
| 15821-02 |            |            | 4,0                         | 10,55       | 20   | 9    | 2,5                             | 2,5                      | 4,0                 |
| 18221-01 |            |            | 5,3                         | 9,85        | 15   | 6    | 3,4                             | ---                      | 5,3                 |
| 13821-03 | HBL #4     | RH         | 3,2                         | 18,1        | 20   | 12   | 2,2<br>1,0                      | ---                      | 3,2                 |
| 14121-02 |            |            | 3,5                         | 17,9        | 28   | 10   | 3,4                             | ---                      | 3,5                 |
| 14221-05 |            |            | 3,2                         | 17,9        | 24   | 13   | 3,2                             | ---                      | 2,9                 |
| 14621-03 |            |            | 3,4                         | 11,6        | 23   | 10   | 3,2                             | 2,1<br>2,8               | 3,4                 |
| 14821-03 |            |            | 3,5                         | 10,19       | 18   | 7    | 2,4                             | 2,4                      | 3,5                 |
| 14921-03 |            |            | 5,0                         | 9,63        | 11   | 8    | 5,0                             | ---                      | 2,9<br>2,1          |
| 15221-01 |            |            | 18,2                        | 9,66        |      |      | 2,1<br>2,6<br>3,7<br>6,0<br>2,5 | 4,7<br>3,7<br>6,0<br>2,5 | 18,2                |
| 13821-04 | HBL #5     | LH         | 3,6                         | 26,1        | 30   | 10   | 3,3                             | ---                      | ---                 |
| 13921-08 |            |            | 2,8                         | 26,95       | 32   | 25   | 2,5                             | ---                      | ---                 |
| 15521-06 |            |            | 6,8                         | 10,11       | 18   | 8    | 3,3<br>6,1                      | 6,1                      | 6,8                 |
| 13521-04 | HBL #6     | LH         | 4,4                         | 20,2        | 24   | 10   | 3,0<br>1,4                      | ---                      | 4,4                 |
| 13921-01 |            |            | 3,8                         | 21,13       | 25   | 15   | 2,2                             | ---                      | 3,8                 |
| 14121-03 |            |            | 5,6                         | 22,31       | 30   | 15   | 3,4<br>2,2                      | ---                      | 5,6                 |
| 14521-02 |            |            | 2,8                         | 20,47       | 25   | 10   | 2,7                             | ---                      | 2,8                 |
| 14621-05 |            |            | 16,9                        | 8,35        | 20   | 3    | 2,7<br>0,9<br>5,1               | 3,6                      | 16,9                |
| 15121-03 |            |            | 5,6                         | 9,5         | 13   | 8    | 4,2                             | ---                      | 5,6                 |
| 15521-02 |            |            | 6,0                         | 9,86        | 15   | 9    | 3,6                             | ---                      | 6,0                 |
| 15921-02 |            |            | 5,8                         | 10,33       | 13   | 8    | 3,6<br>0,4<br>1,8               | 4,0                      | 5,8                 |

## Conclusioni

Il grafico delle prime rotture di ogni prova e relativo componente del freno guasto: le prime rotture più frequenti riguardano la leva:



Il grafico successivo mostra tutti i fallimenti HBL di ciascun test e la relativa posizione della rottura:

Pin zone:



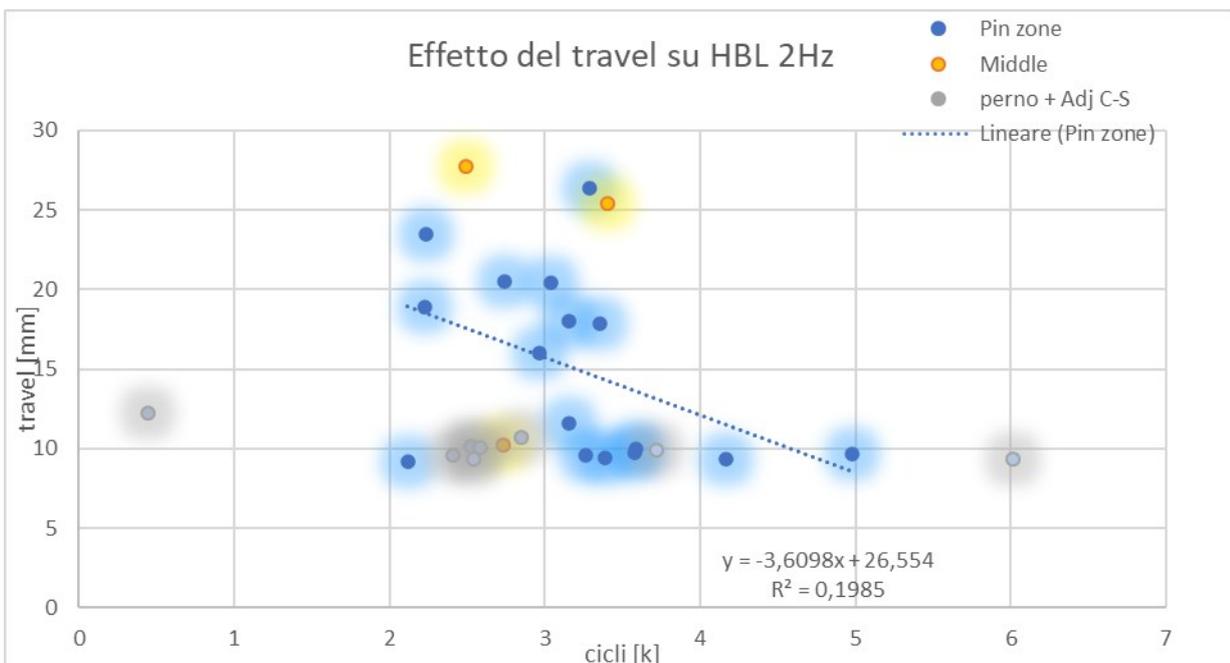
Pin:



Adj Cross-struct:

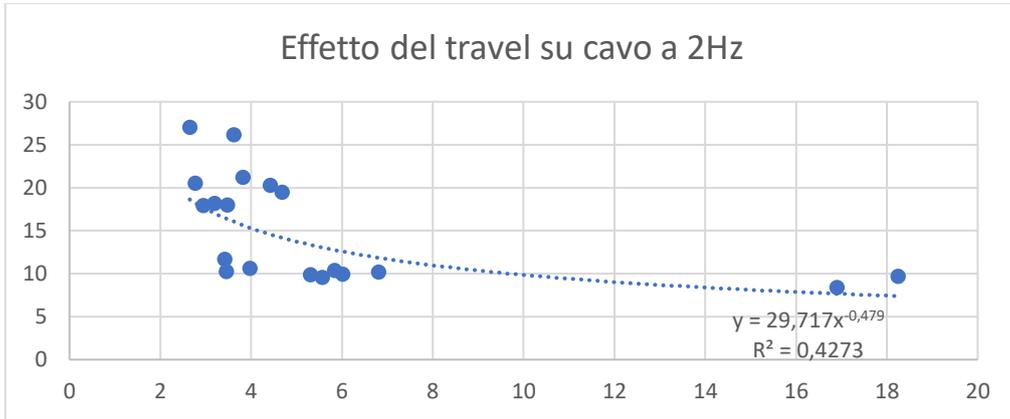


Middle:

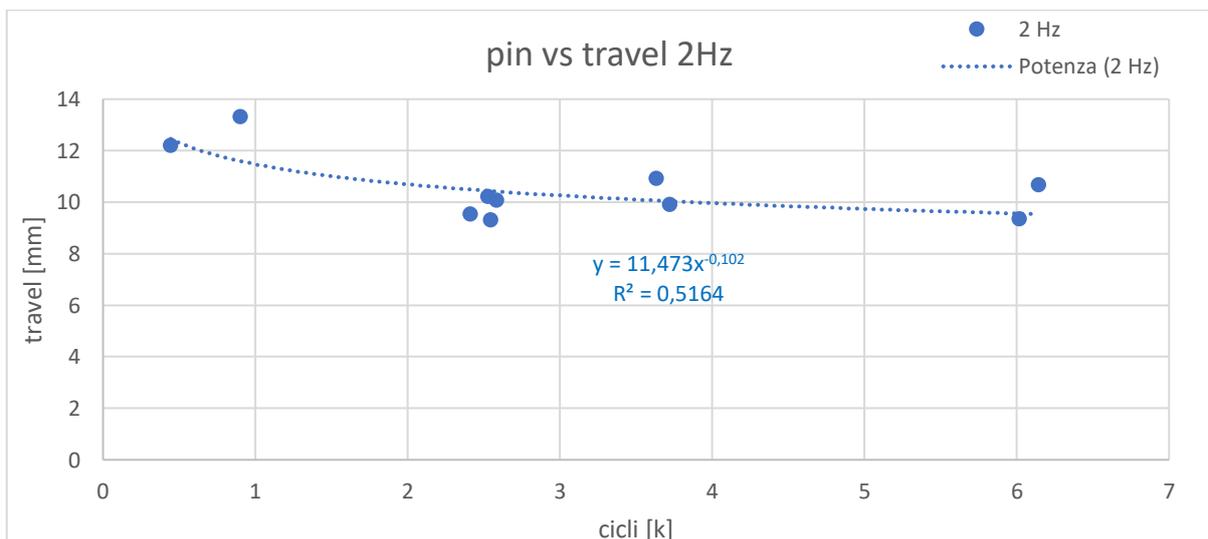
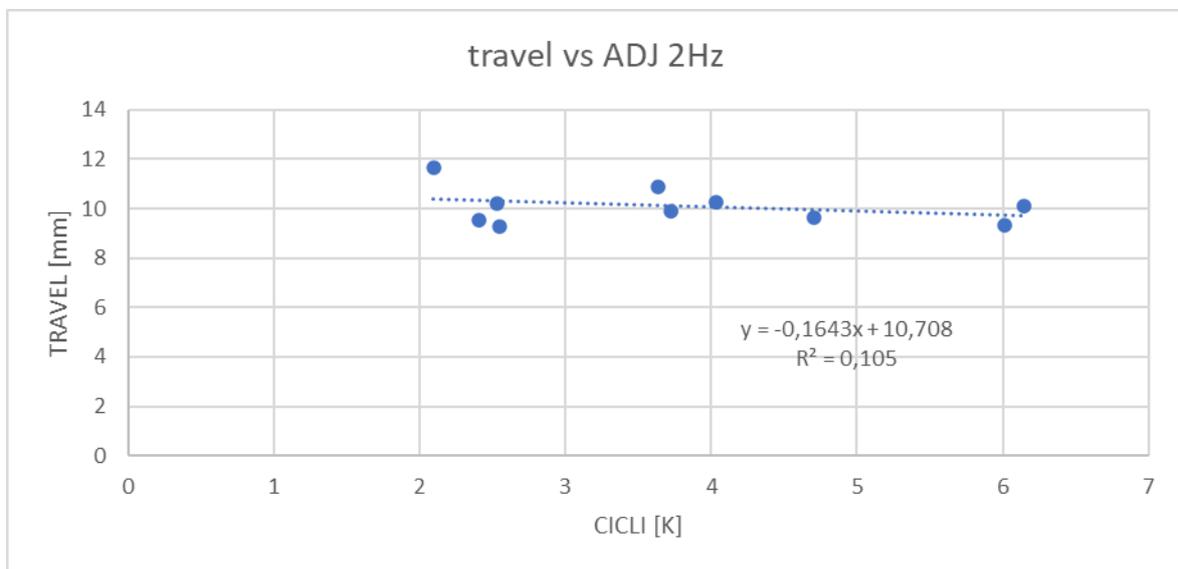


Non esiste alcuna correlazione tra la corsa e la durata dell'HBL, ma la corsa modifica la modalità di guasto e la posizione della rottura.

L'effetto della corsa è più evidente sul cavo, dove l'andamento può essere interpolato come di seguito:



L'autoregistro e il perno della leva freno a mano HBL accadono solo con poca corsa.



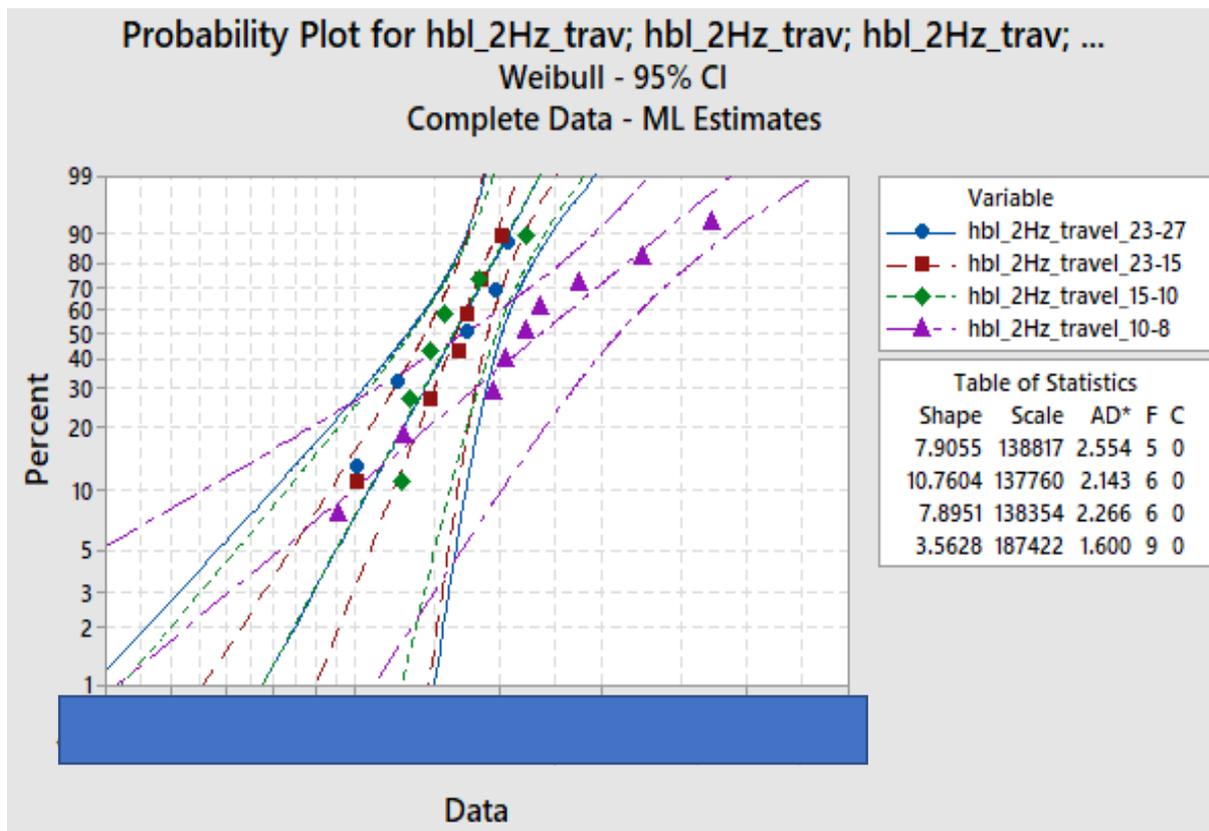
La tabella seguente mostra i cicli di rottura per HBL e cavo, considerati affidabili perché non alterati da fattori esterni: i valori sono stati normalizzati su un valore T.

| HBL Samples\travel | 27-23 [mm] | 23-15 [mm] | 15-10 [mm] | 10-8 [mm] |
|--------------------|------------|------------|------------|-----------|
| 1                  | 3,04       | 3,04       | 3,15       | 4,98      |
| 2                  | 3,29       | 2,23       | 2,73       | 4,17      |
| 3                  | 2,50       | 2,74       | 2,53       | 3,58      |
| 4                  | 2,23       | 3,15       | 2,85       | 3,26      |
| 5                  | 3,41       | 3,35       | 2,58       | 3,38      |
| 6                  |            | 2,97       | 3,59       | 2,12      |
| 7                  |            |            |            | 3,72      |
| 8                  |            |            |            | 6,02      |
| 9                  |            |            |            | 2,55      |

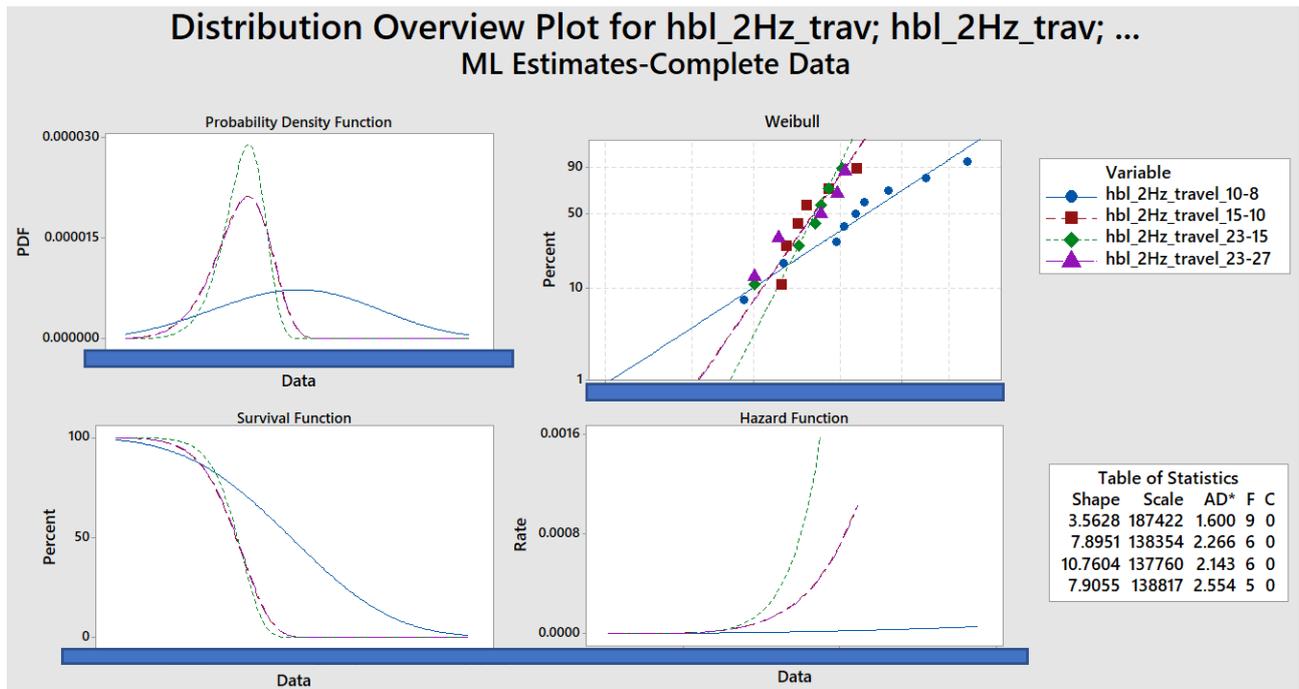
| Cable samples\ travel | 26-22 [mm] | 22-15 [mm] | 15-9 [mm] |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| 1                     | 3,62       | 4,42       | 5,84      |
| 2                     | 2,65       | 4,69       | 3,45      |
| 3                     | 5,57       | 3,19       | 2,92      |
| 4                     |            | 3,83       | 5,57      |
| 5                     |            | 3,48       | 6,02      |
| 6                     |            | 5,57       | 3,98      |
| 7                     |            | 2,95       | 6,81      |
| 8                     |            | 2,77       | 5,31      |

I grafici seguenti mostrano le curve di Weibull su diverse configurazioni di corsa che ci danno maggiori informazioni per fare delle considerazioni:

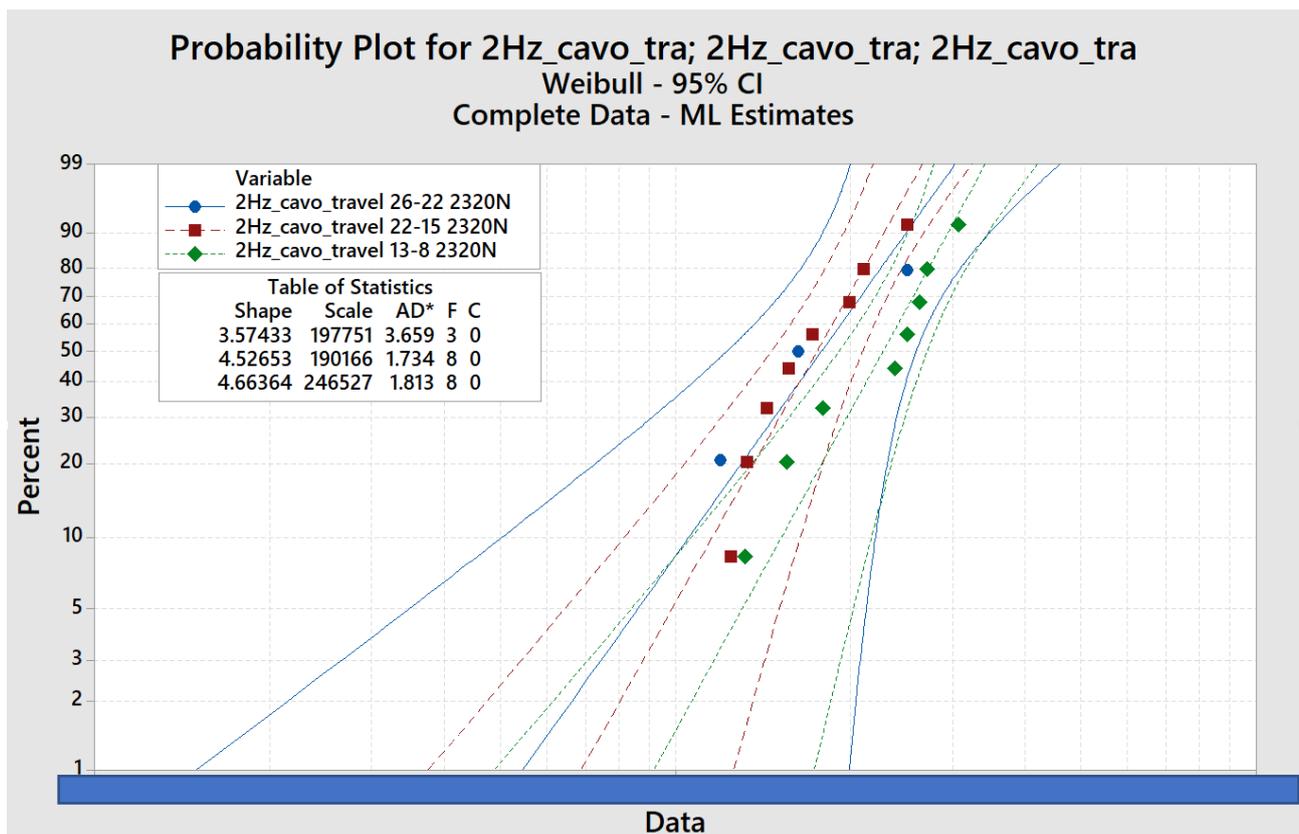
Possiamo confermare che la corsa corta del cavo (10-8 mm) aumenta la durata della leva del freno a mano.



È evidente sul grafico PDF, la curva dell'HBL con corsa breve (8-10 mm) ha una distribuzione dei dati più ampia, mentre le altre configurazioni sono sullo stesso intervallo.



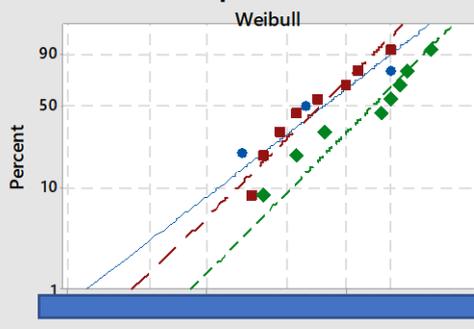
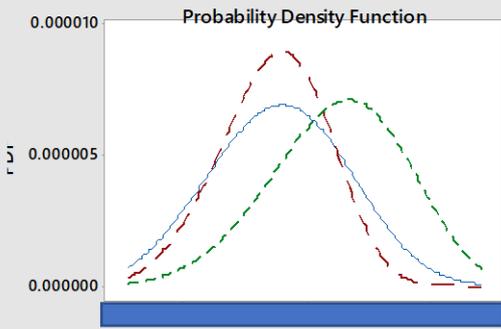
Mentre, qui sotto vediamo che la durata del cavo aumenta quando c'è una corsa breve: (13-8 mm).



Si nota che con una corsa media c'è un basso valore di deviazione standard ed è chiaro che la durata aumenta quando la corsa è breve, come si può vedere di seguito:

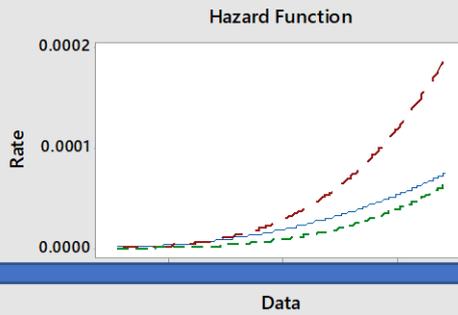
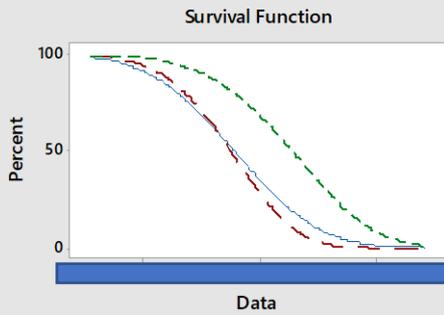
# Distribution Overview Plot for 2Hz\_cavo\_tra; 2Hz\_cavo\_tra; ...

## ML Estimates-Complete Data



| Variable |                           |
|----------|---------------------------|
| ●        | 2Hz_cavo_travel 26-22 232 |
| ■        | 2Hz_cavo_travel 22-15 232 |

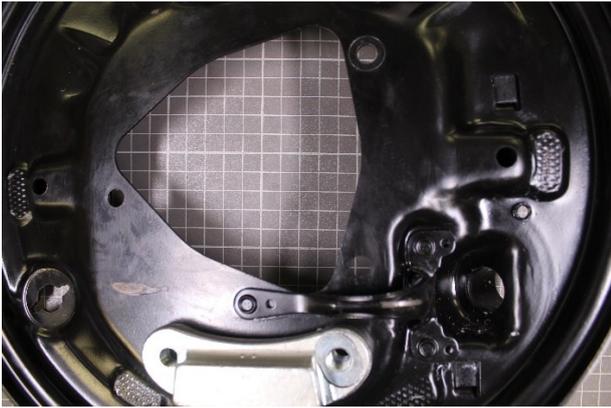
| Table of Statistics |        |       |   |   |
|---------------------|--------|-------|---|---|
| Shape               | Scale  | AD*   | F | C |
| .57433              | 197751 | 3.659 | 3 | C |
| .52653              | 190166 | 1.734 | 8 | C |



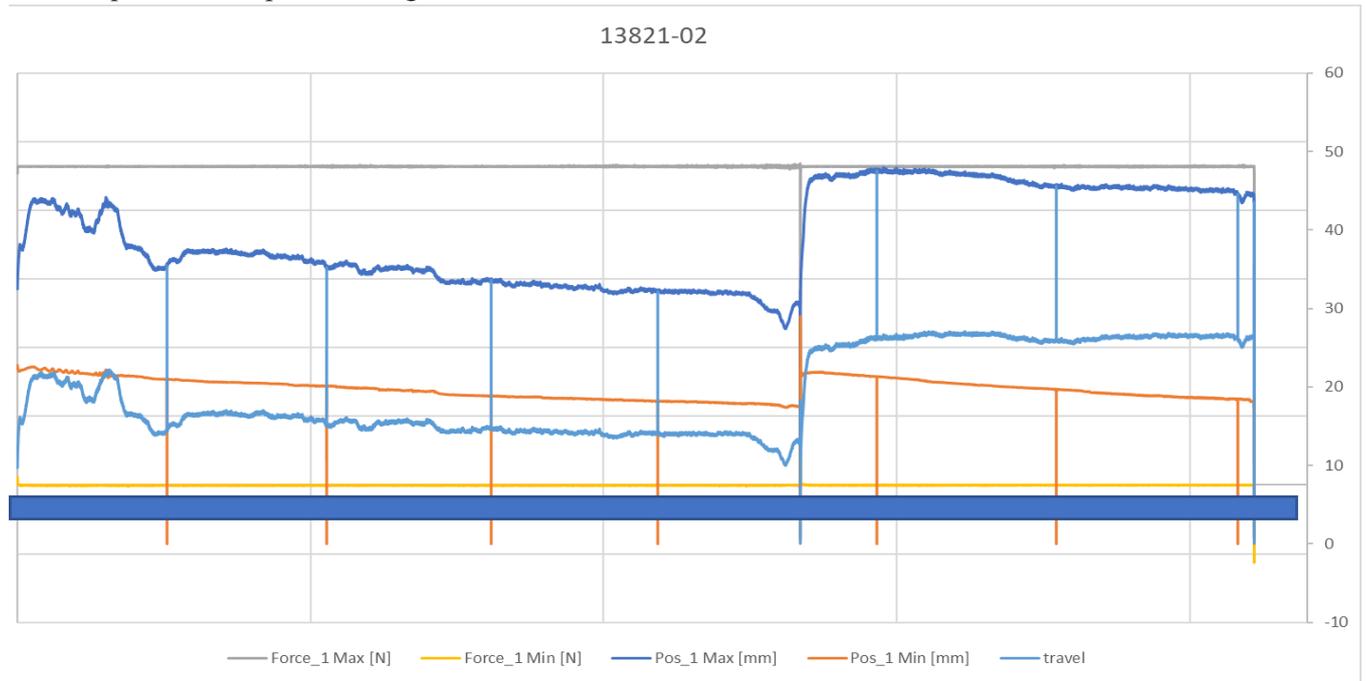
Data

Data

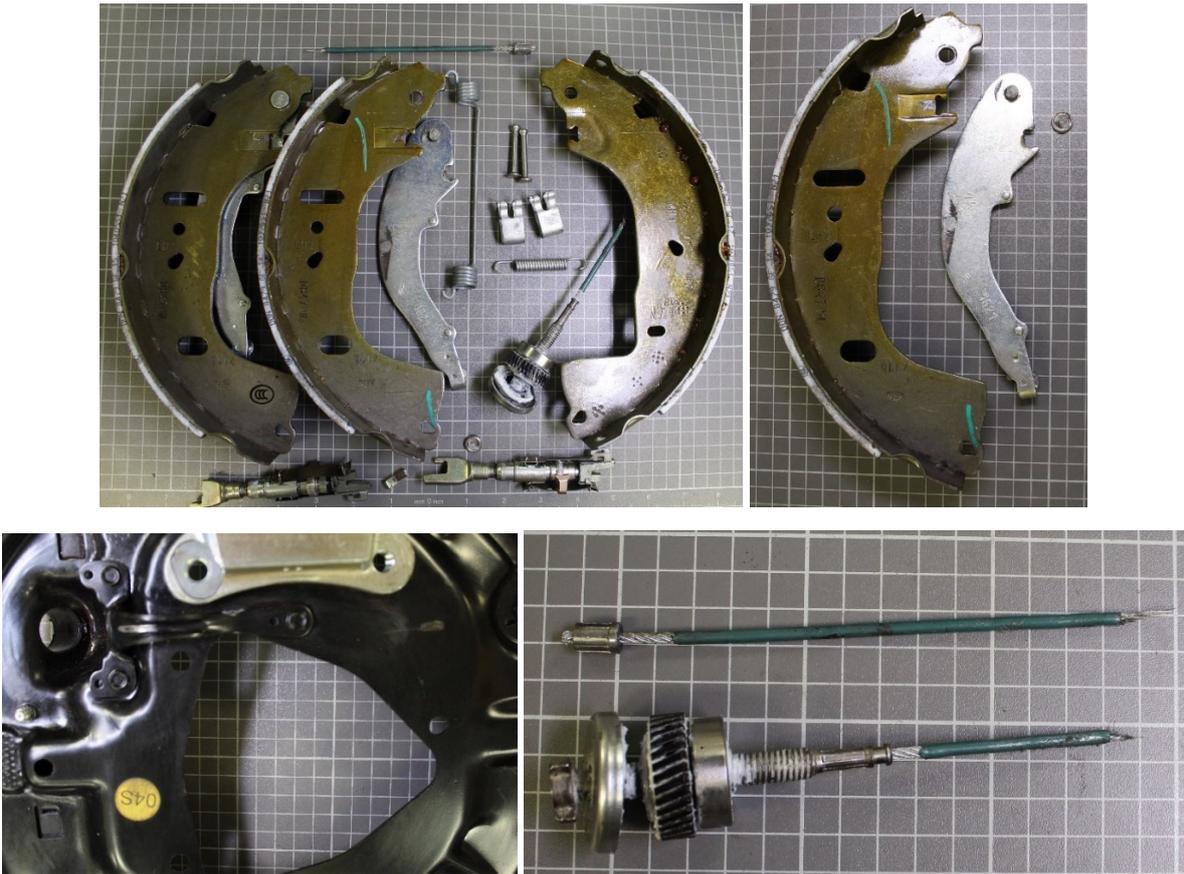
**Sample-1: (Test ID#13821-02, LH side, CUV shoes, FAM3)**



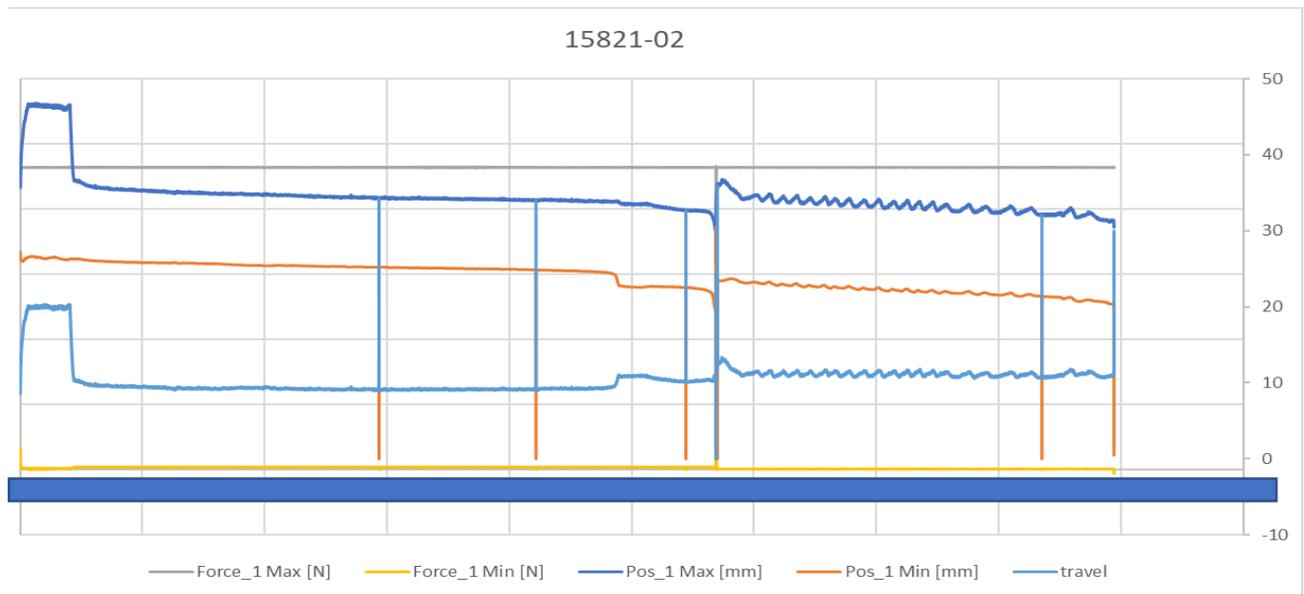
I dati acquisiti sono riportati di seguito:



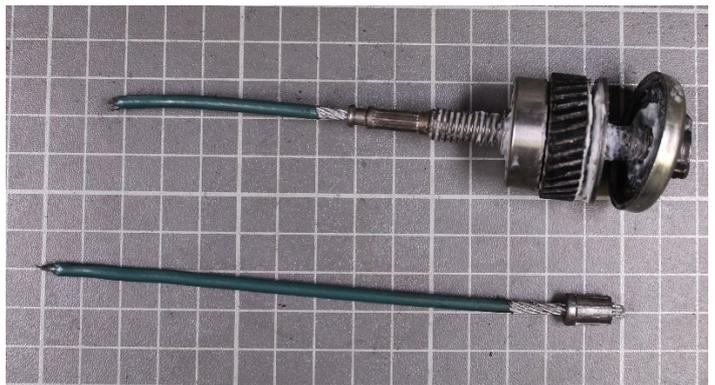
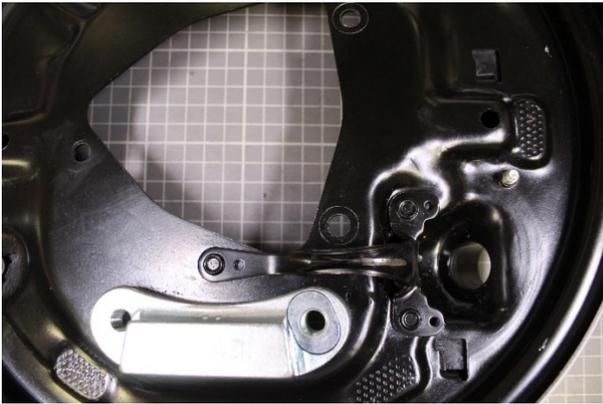
**Sample-2: (Test ID#15821-02, LH side, CUV shoes, FAM3)**



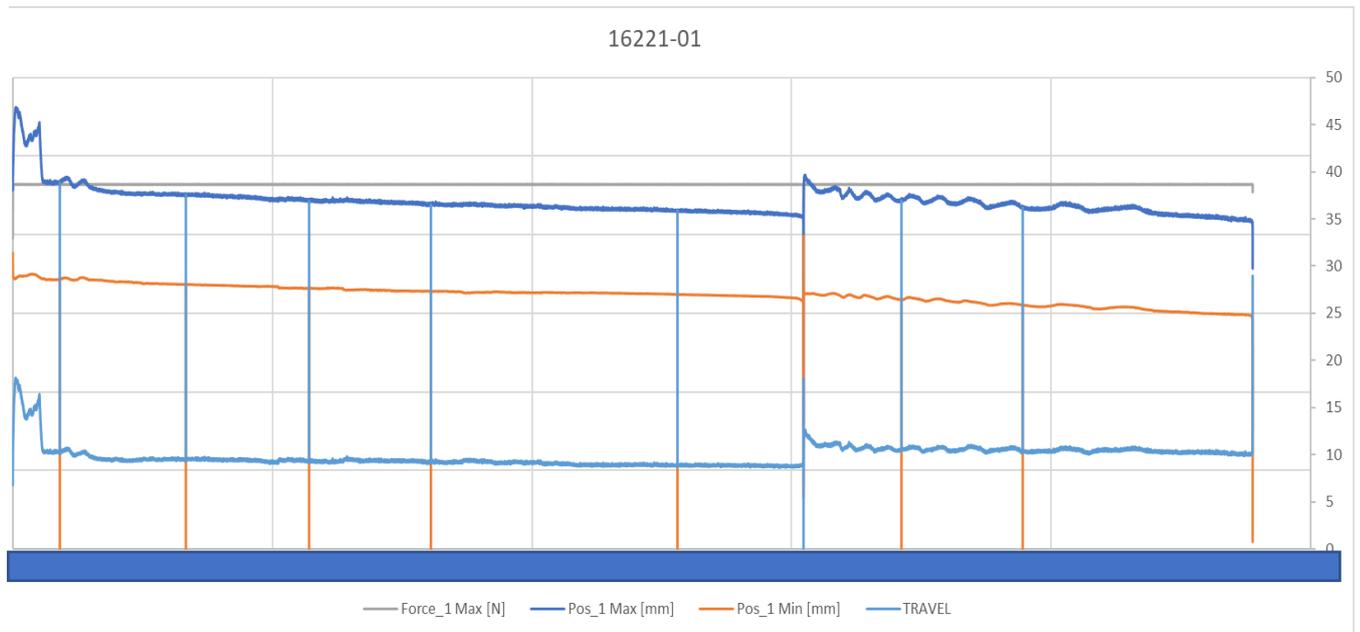
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 10,55 mm:



**Sample-3: (Test ID#16221-01, LH side, CUV shoes, FAM 4)**



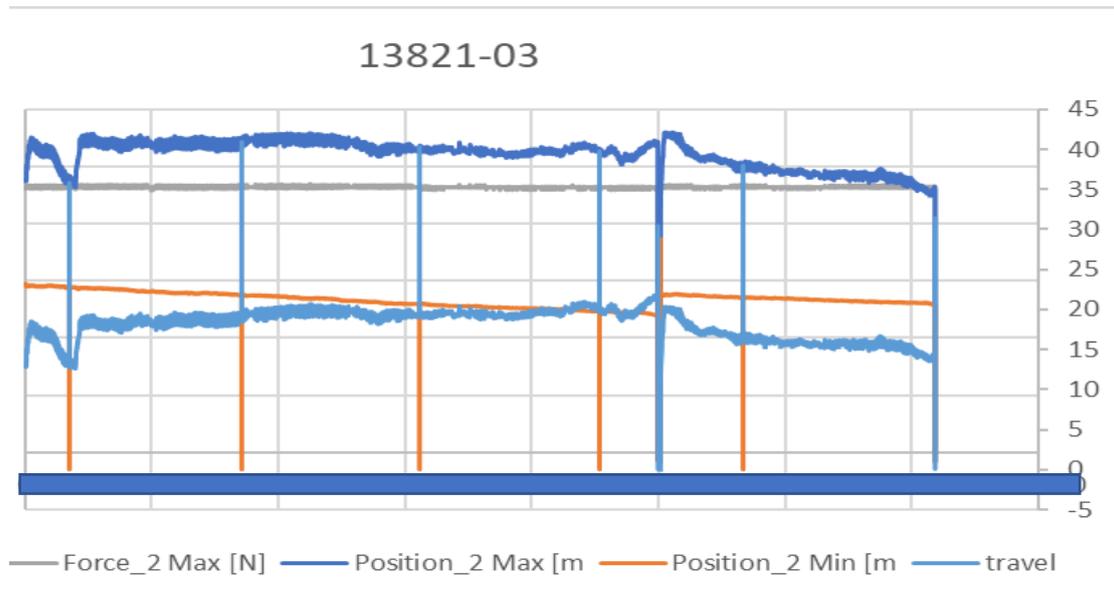
I dati acquisiti sono riportati qui di seguito:



**Sample-4: (Test ID#13821-03, RH side, CUV shoes, FAM4)**



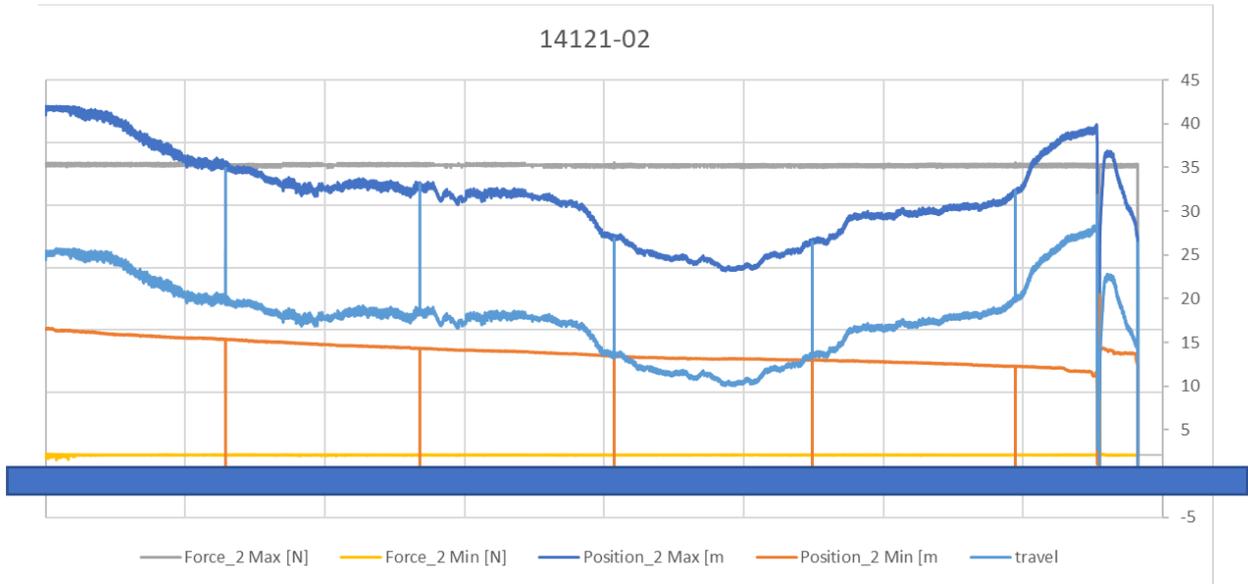
I dati acquisiti sono riportati di seguito:



**Sample-5: (Test ID#14121-02, RH side, CUV shoes, FAM 4)**



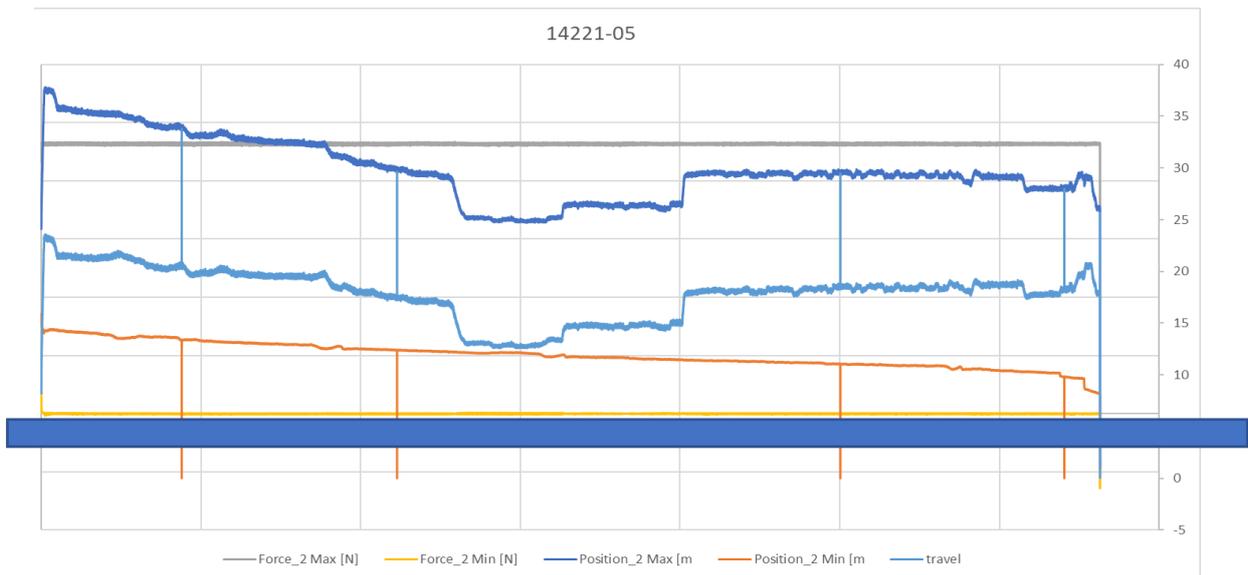
I dati acquisiti sono riportati di seguito:



**Sample-6: (Test ID#14221-05, RH side, CUV shoes, FAM 4)**



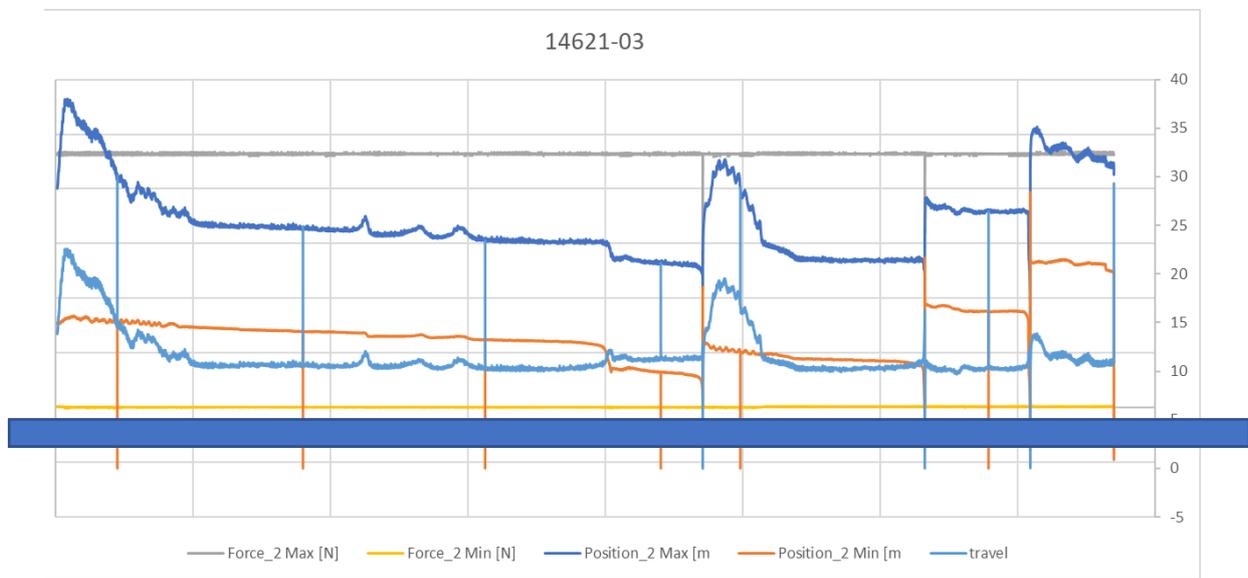
L'acquisizione storica del test è mostrata qui:



**Sample-7: (Test ID#14621-03, RH side, CUV shoes, FAM 4)**



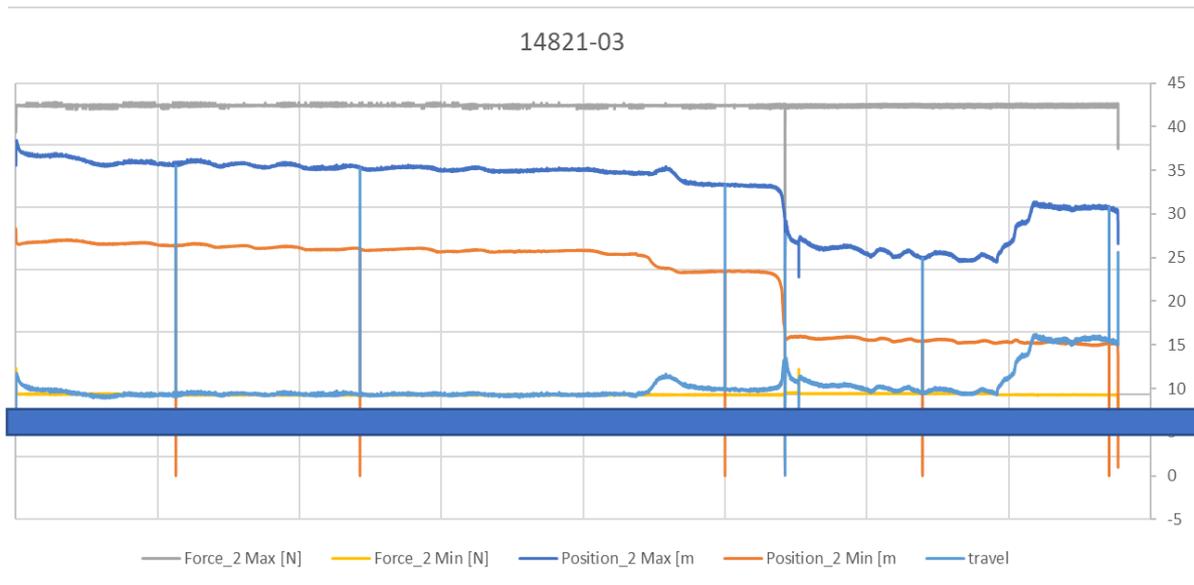
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 11,6 mm:



**Sample-8: (Test ID#14821-03, RH side, CUV shoes, FAM 4)**



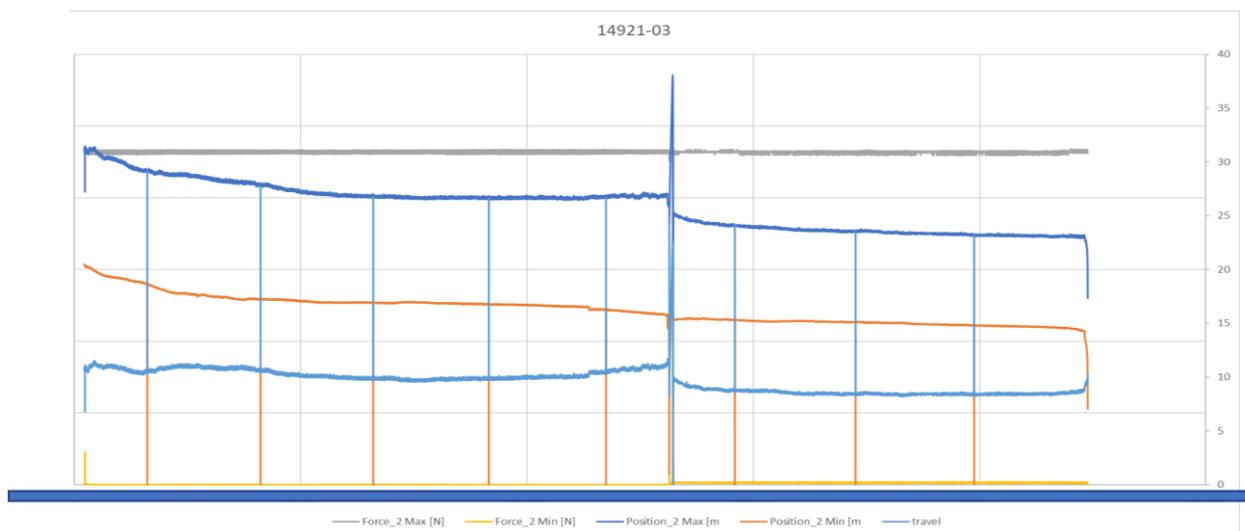
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 10,19 mm:



**Sample-9: (Test ID#14921-03, RH side, CUV shoes, FAM 4)**

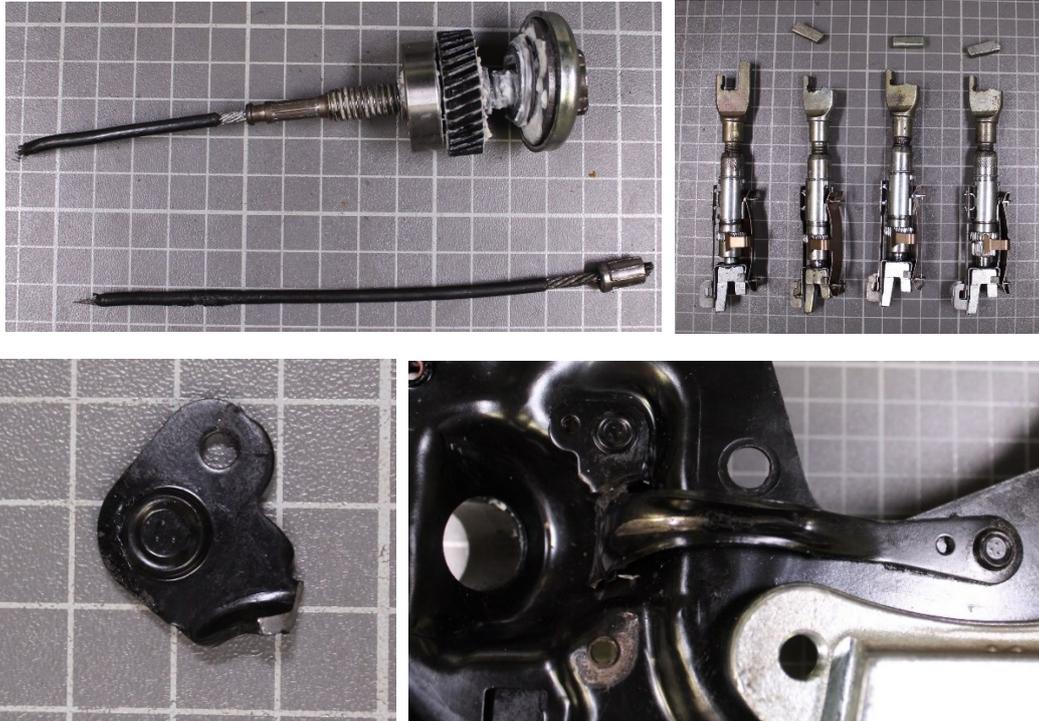


L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 9,63 mm:

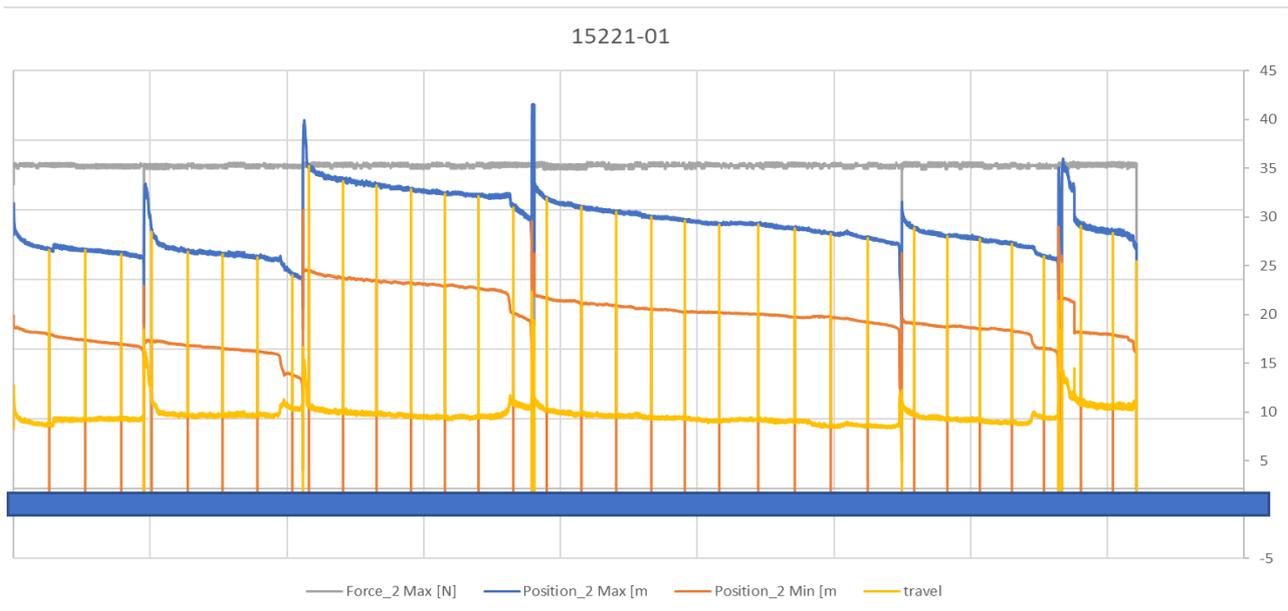


Sample-10: (Test ID#15221-01, RH side, CUV shoes, FAM 4)





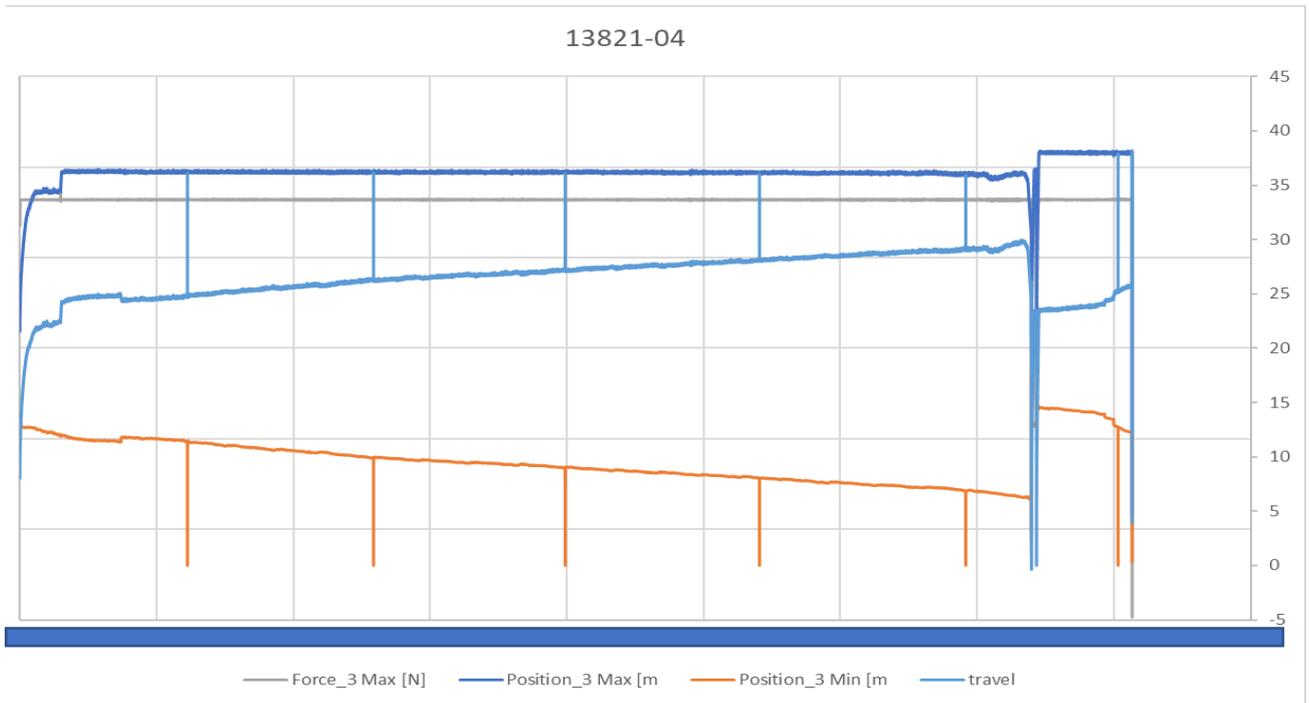
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 9,6 mm:



**Sample-11: (Test ID#13821-04, LH side, CUV shoes, FAM 5)**



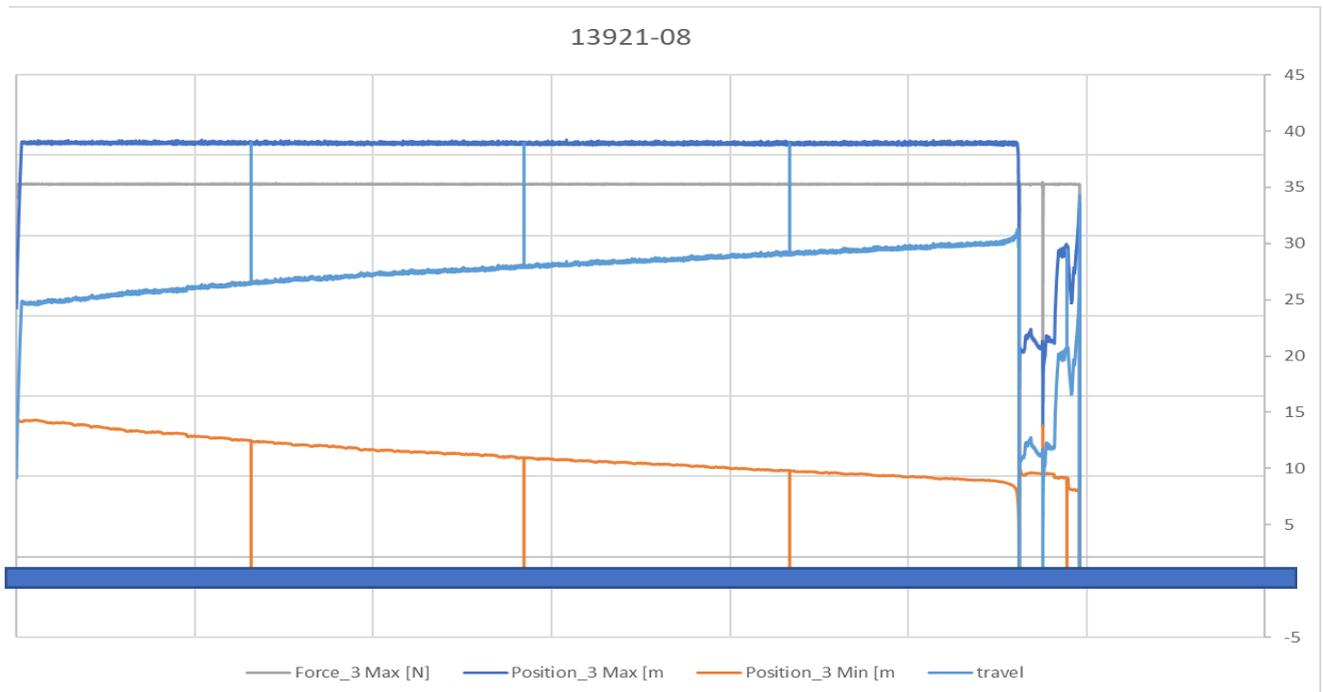
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 26,1 mm:



**Sample-12: (Test ID#13921-08, LH side, CUV shoes, FAM 5)**



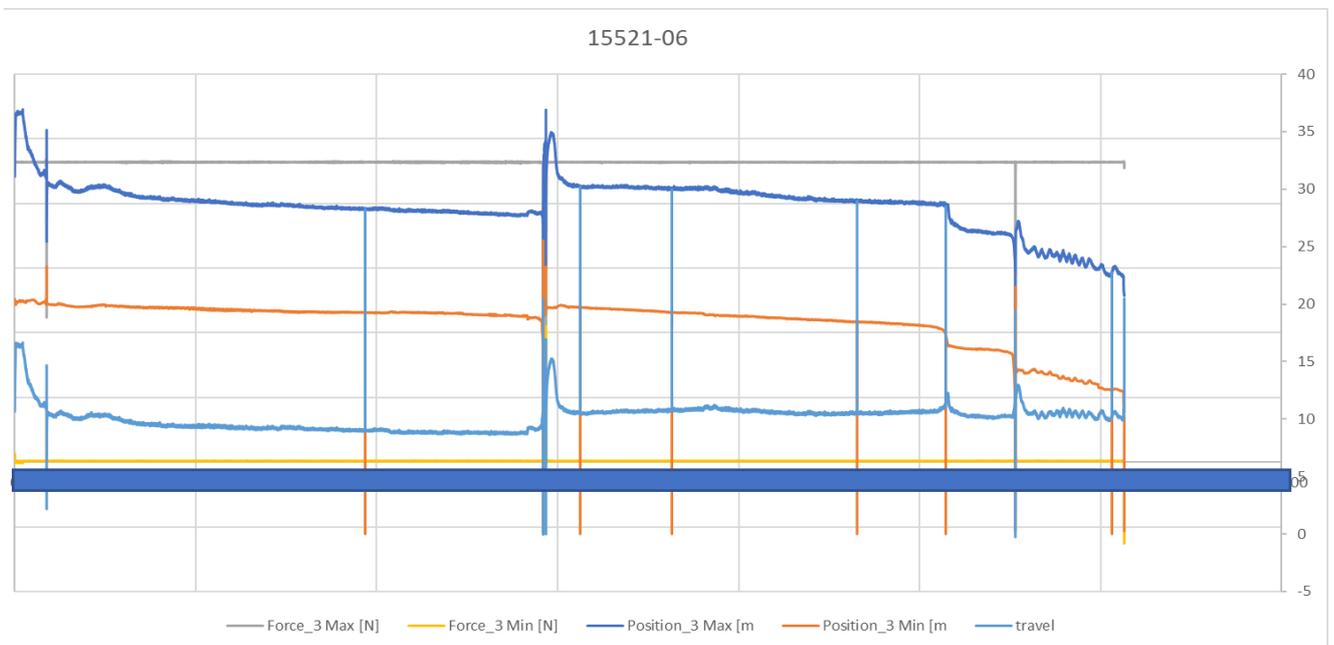
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 26,95 mm:



**Sample-13: (Test ID#15521-06, LH side, CUV shoes, FAM 5)**



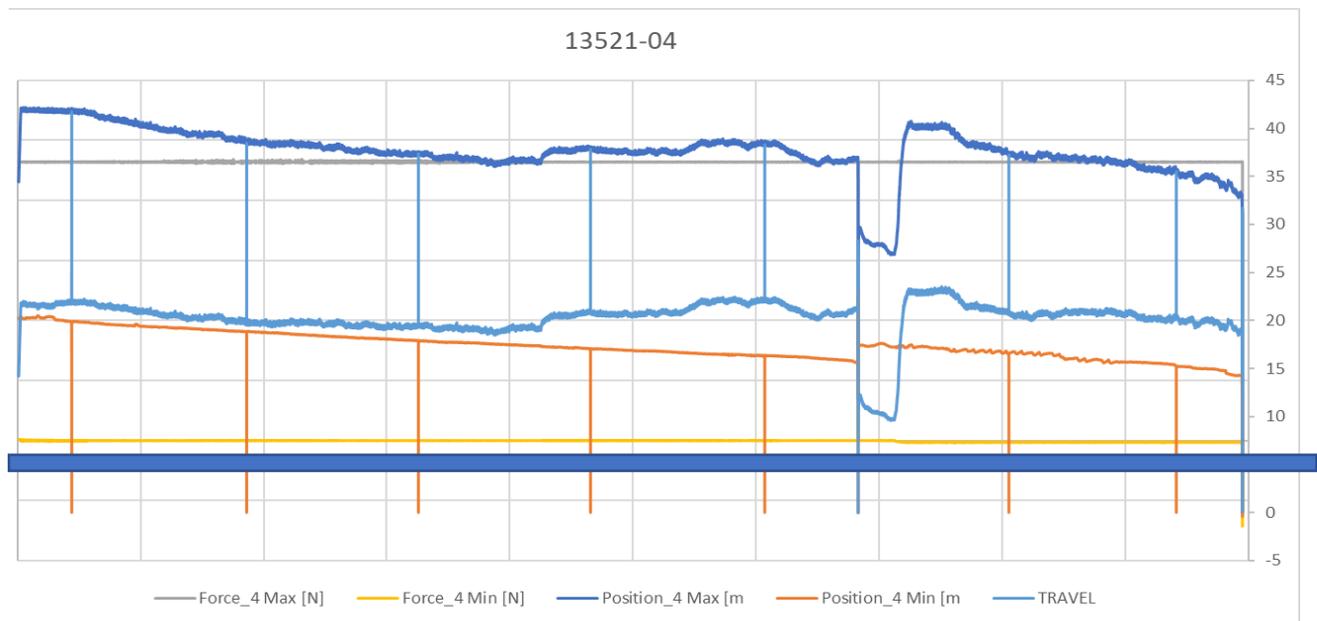
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 10,11 mm:



**Sample-14: (Test ID#13521-04, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



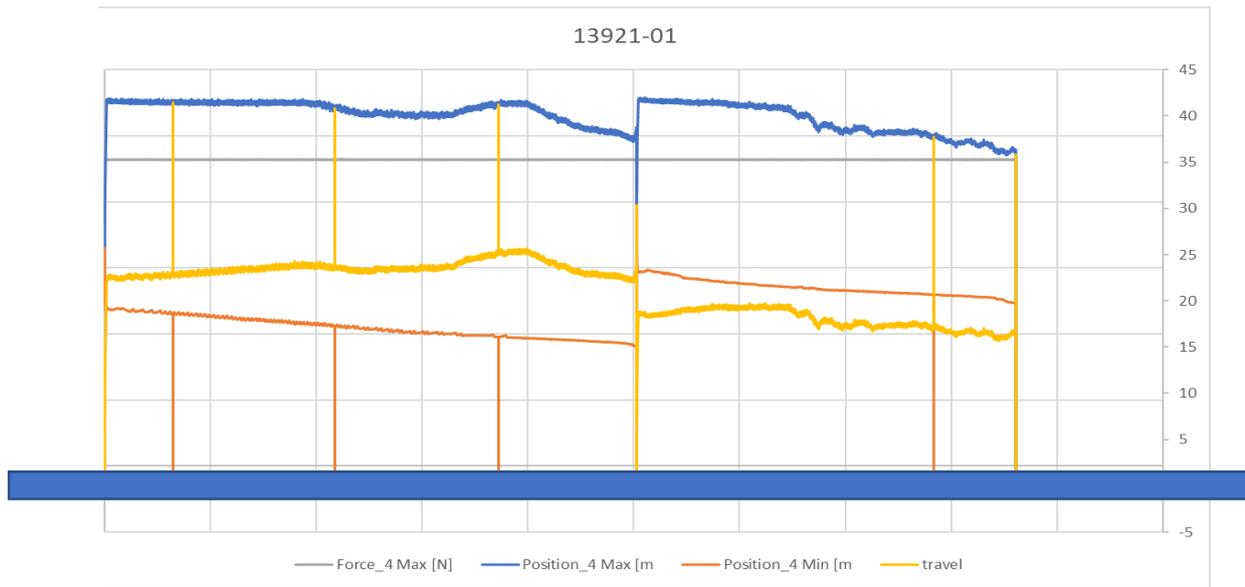
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 20,2 mm:



**Sample-15: (Test ID#13921-01, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



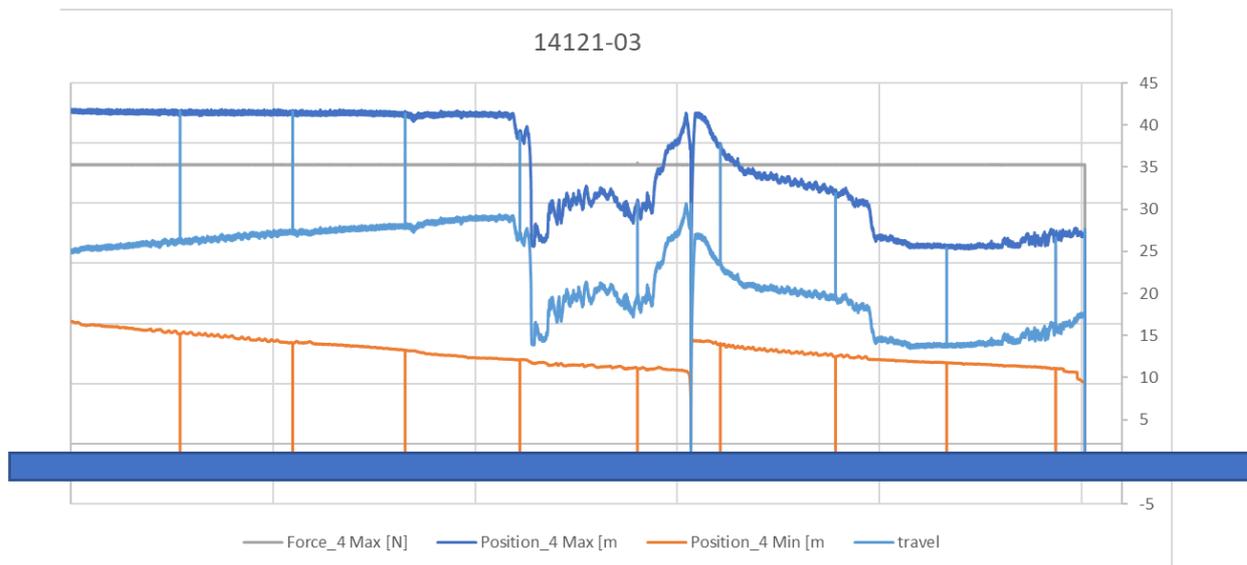
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 21,13 mm:



**Sample-16: (Test ID#14121-03, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



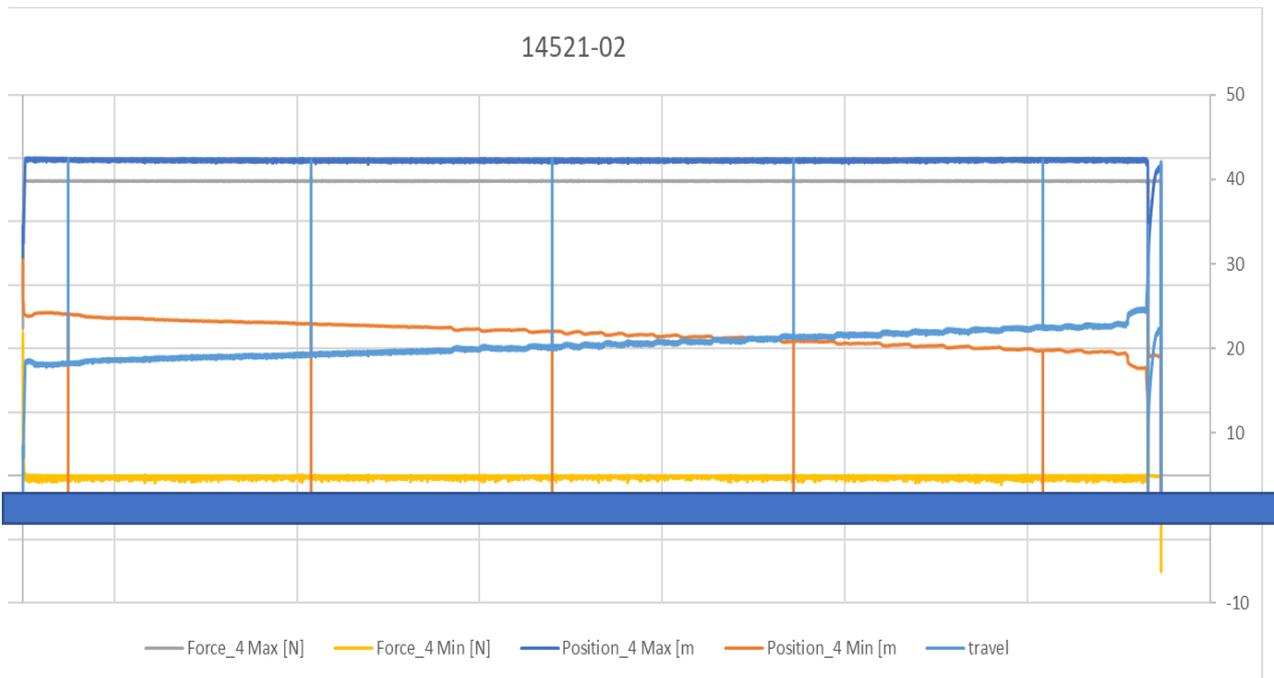
L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 22,31 mm:



**Sample-17: (Test ID#14521-02, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 20,47 mm:



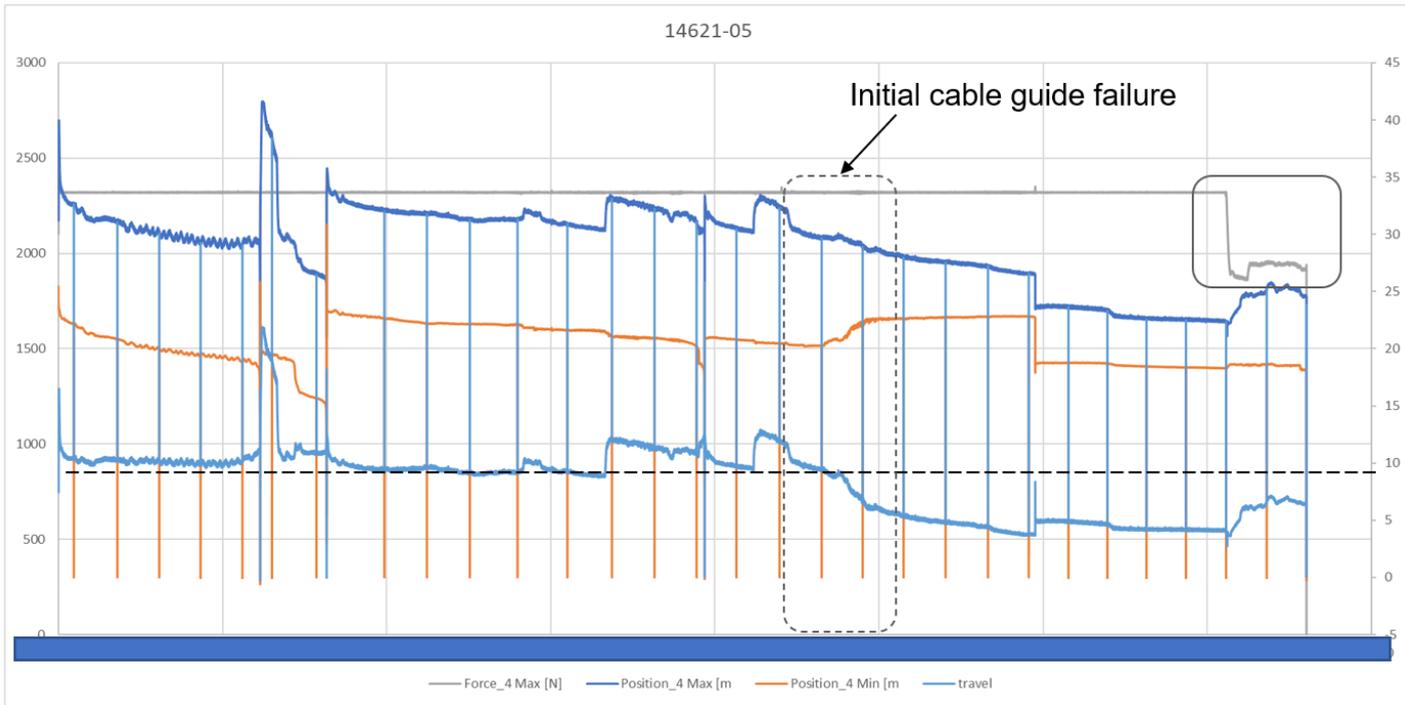
**Sample-18: (Test ID#14621-05, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



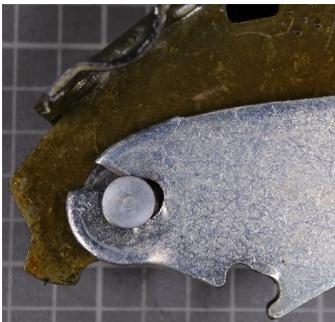
L'acquisizione storica del test è mostrata qui sotto. La corsa media era di 8,35 mm:

- HBL broken in the middle.
- Pin of HBL and adjuster broken.

- HBL broken in the pin zone.
- Cable guide and cable broken.
- Cable guide TOX joints broken.

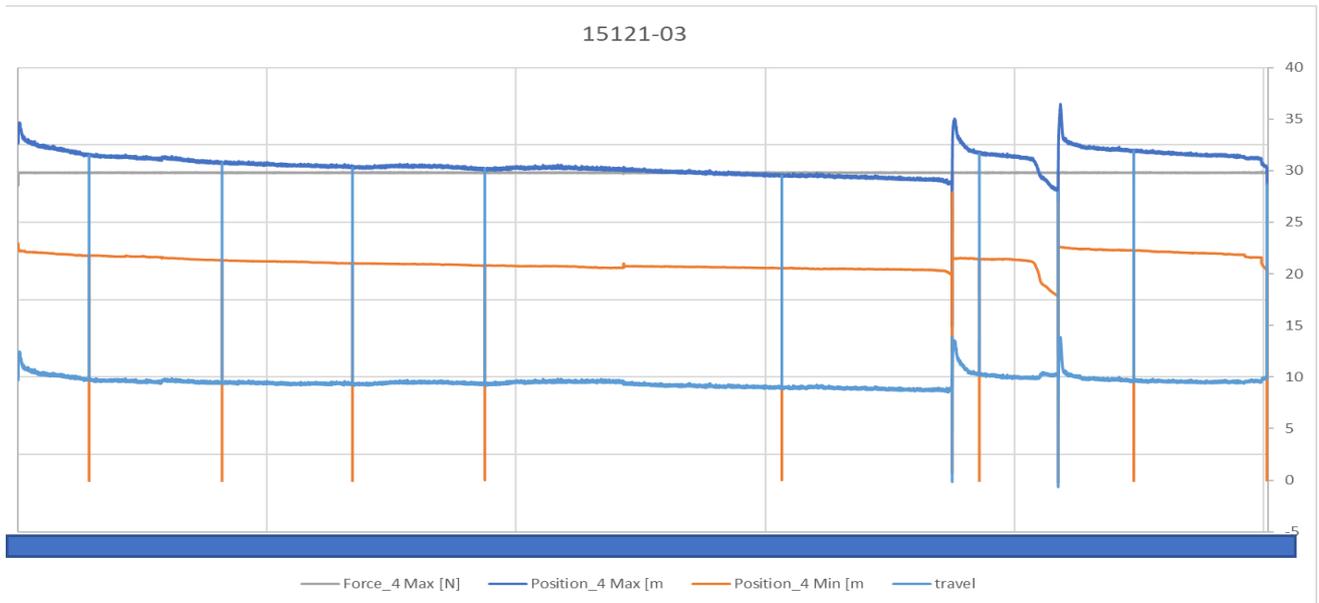


**Sample-19: (Test ID#15121-03, LH side, CUV shoes, FAM 6)**

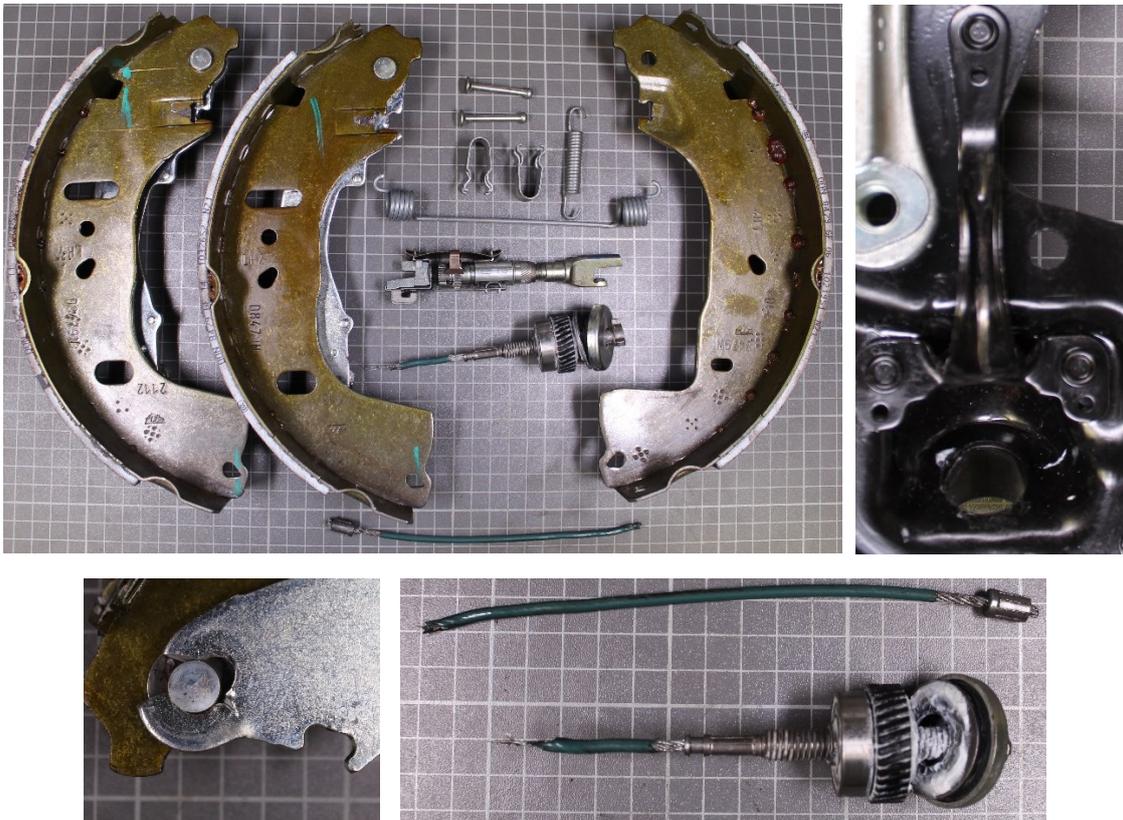


L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 9,5 mm:

- HBL broken in the pin zone.
- Cable guide and cable broken.

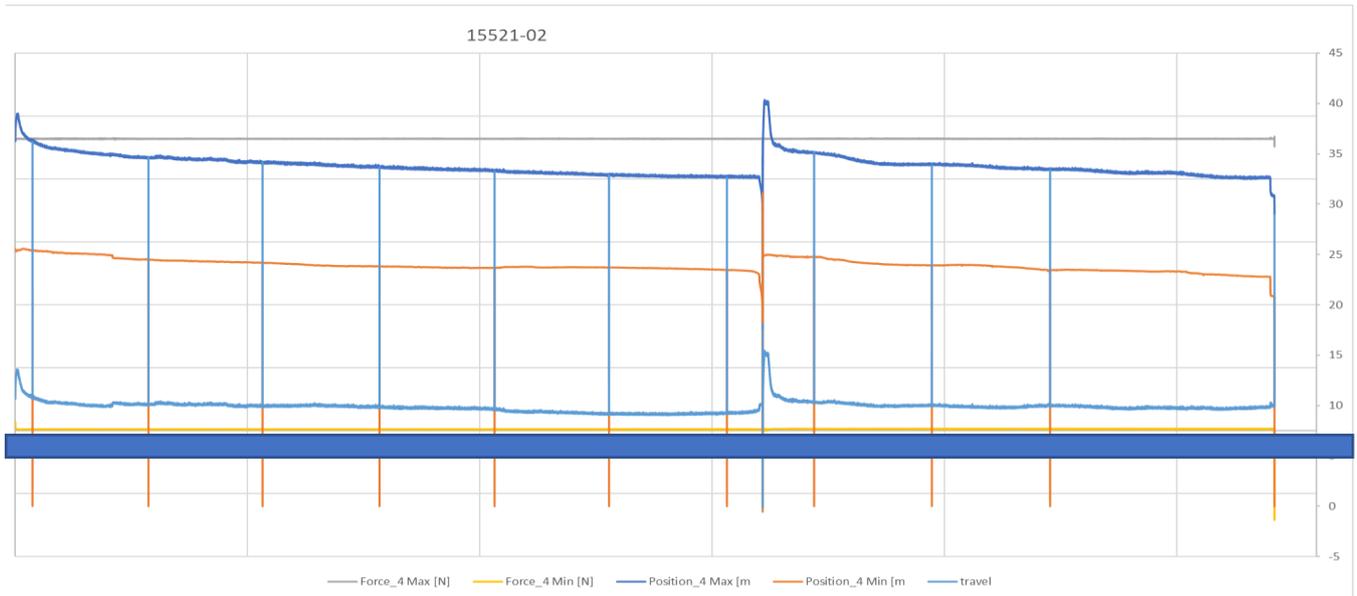


**Sample-20: (Test ID#15521-02, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



L'acquisizione storica del test è mostrata qui di seguito. La corsa media era di 9,86 mm.

- HBL broken in the pin zone.
- Cable guide and cable broken.

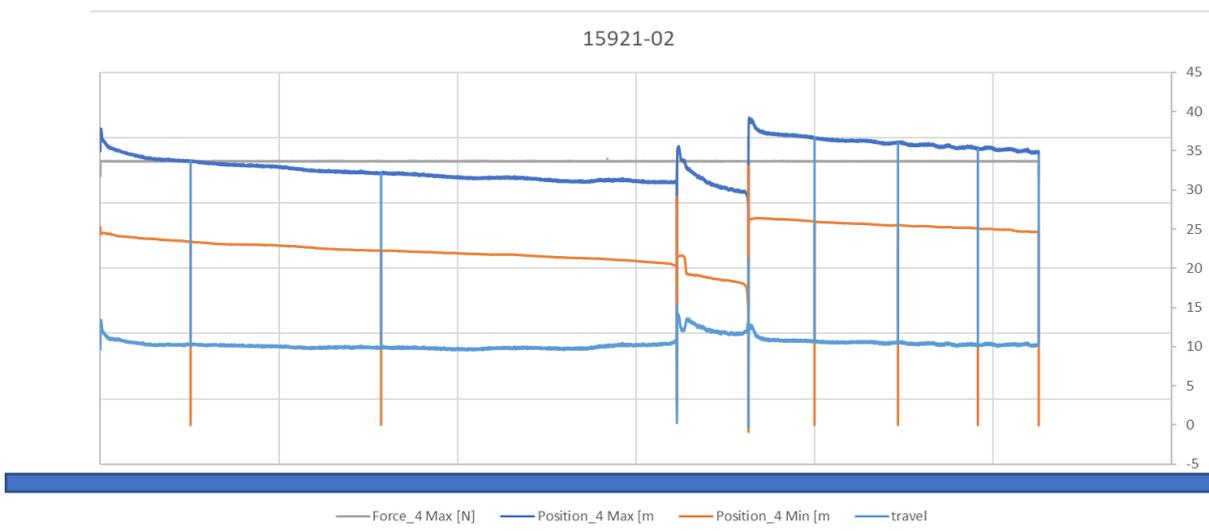


**Sample-20: (Test ID#15921-02, LH side, CUV shoes, FAM 6)**



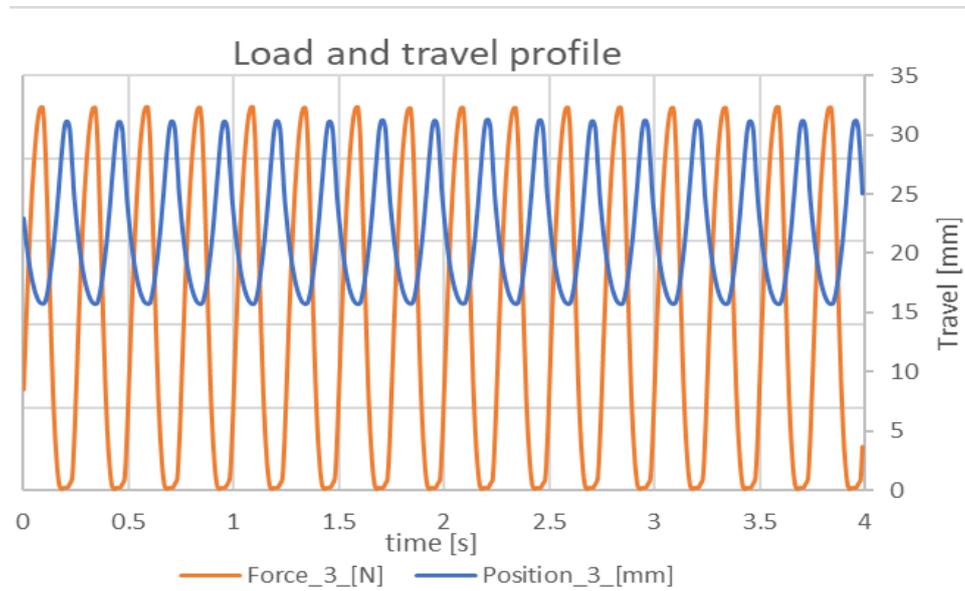
L'acquisizione storica del test è mostrata qui di seguito. La corsa media era di 9,86 mm.

- HBL broken in the pin zone.
- Cable guide and cable broken.



## 4 Hz

Sono stati svolti su n. 6 gruppi freno a tamburo Simplex ( FAM # 5: 6LH ) : sono pochi test, in cui tutti hanno una corsa lunga. Dunque, non si potranno fare considerazioni importanti sull'effetto della corsa ma si può analizzare l'effetto della frequenza.



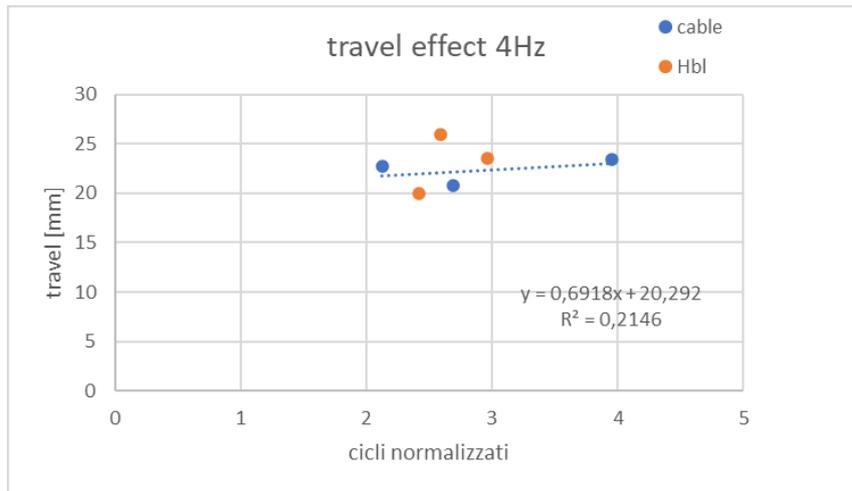
La tabella sottostante mostra i risultati dei test normalizzati:

| T. ID.   | Test Bench | Brake type | Total Cycles | Travel (mm) |      |      | Type of failure    |                    |                      |          |     |              |                  |
|----------|------------|------------|--------------|-------------|------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------|-----|--------------|------------------|
|          |            |            |              | Media       | Max. | Min. | HBL cycles covered | ADJ cycles covered | CABLE cycles covered | HBL      | Pin | ADJ          | Cable            |
| 16221-02 | HBL # 5    | LH         | 3,27         | 20,55       | 25   | 13   | 3,27               | --                 | 2,69                 | Pin zone | --  | --           | Cable guide zone |
| 16521-03 |            |            | 2,62         | 22,89       | 26   | 10   | 2,62               | --                 | 2,12                 | Pin zone | --  | --           | Cable guide zone |
| 16821-04 |            |            | 4,11         | 23,38       | 26   | 15   | 4,11               | 178                | 3,96                 | Pin zone | --  | Cross-struct | Cable guide zone |
| 16921-03 |            |            | 2,82         | 21,32       | 25   | 20   | 2,42               | --                 | 2,82                 | Pin zone | --  | --           | Cable guide zone |
| 17221-03 |            |            | 3,85         | 25,62       | 28   | 24   | 2,59               | --                 | 3,85                 | Pin zone | --  | --           | Cable guide zone |
| 17321-04 |            |            | 3,76         | 23,13       | 26   | 20   | 2,96               | --                 | 3,76                 | Pin zone | --  | --           | Cable guide zone |

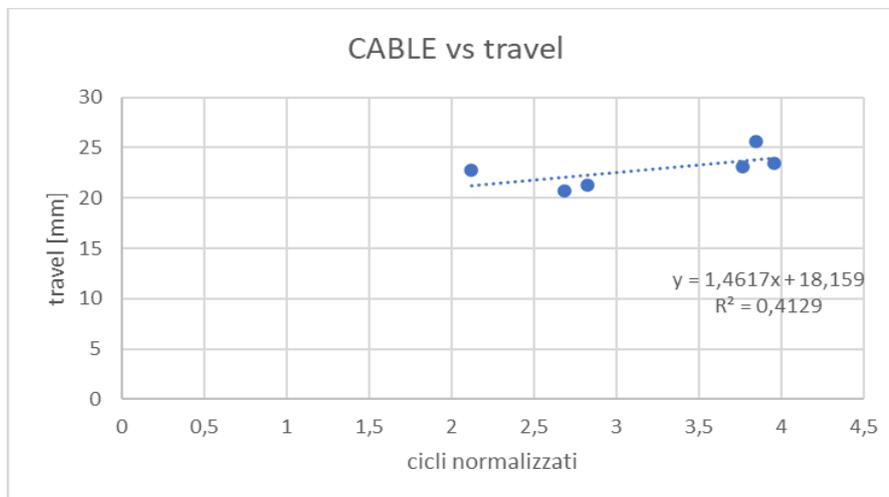
## Conclusioni

Il seguente grafico mostra le prime rotture di ogni prova e relativo componente del freno rotto:

Sembra che non ci sia correlazione tra la durata del freno e la corsa del cavo.

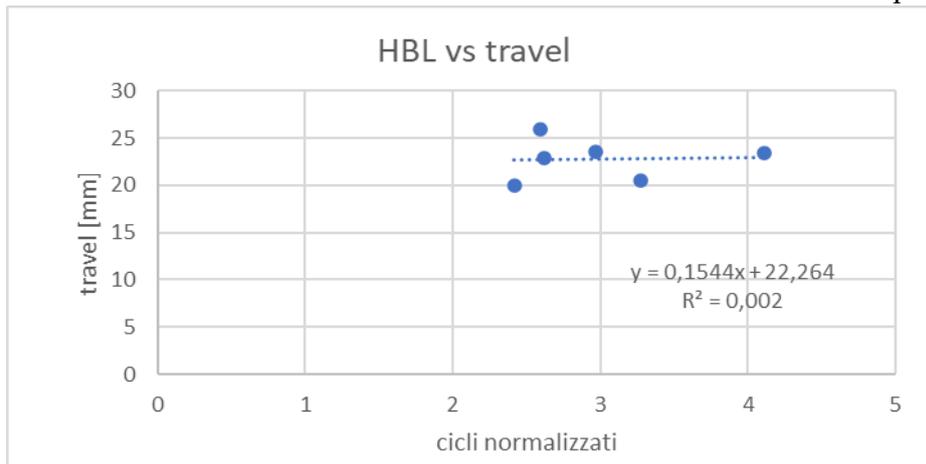


Anche sul cavo sembra non esserci una correlazione importante con la corsa:



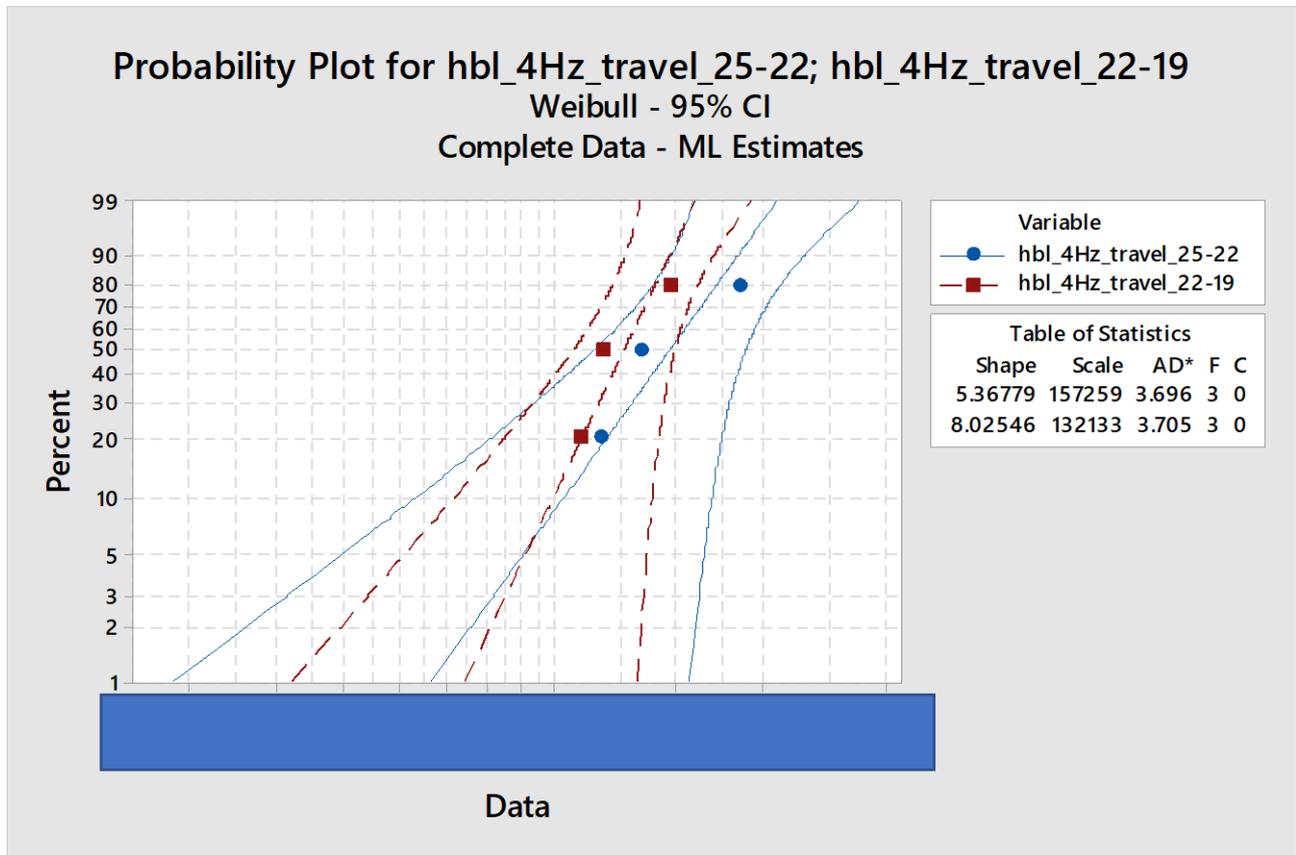
Inoltre la variazione del parametro della corsa non ha effetto sulle rotture della leva del freno a mano.

Tutte le rotture della leva freno a mano si sono verificati nella zona del perno:

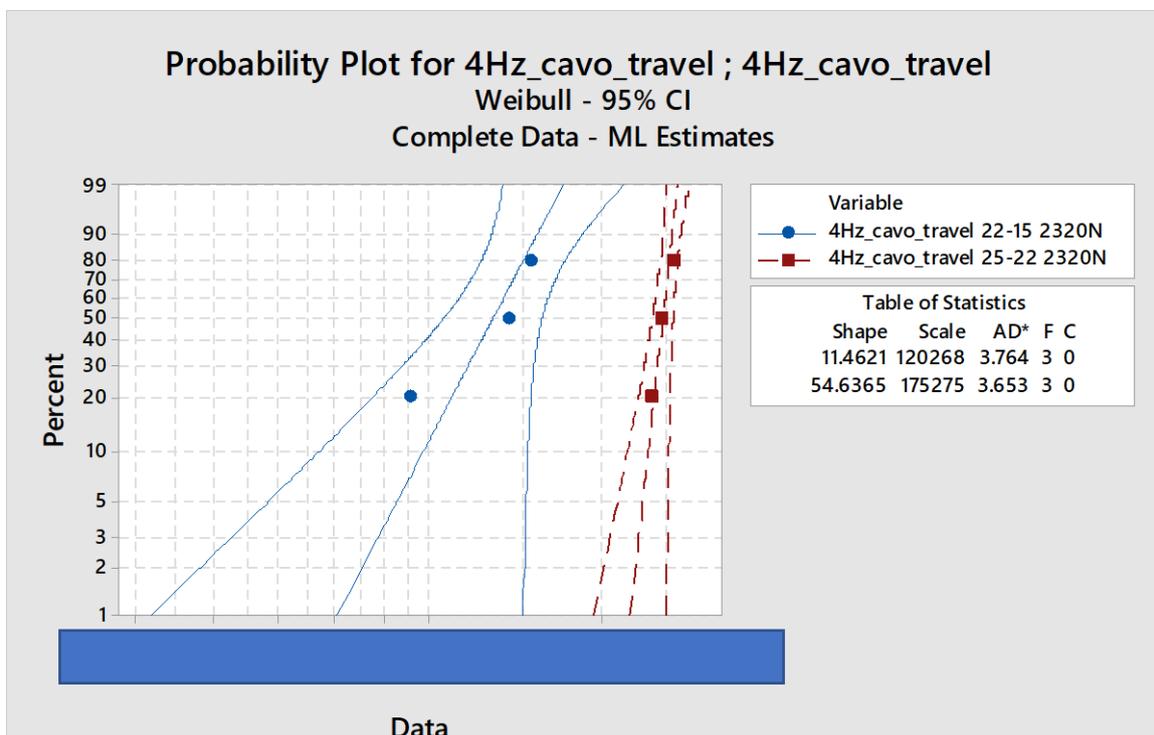


Sono stati considerati tutti i dati di guasto per HBL e cavo. I grafici seguenti mostrano la curva di Weibull, che ci fornisce maggiori informazioni, ma siccome i dati sono solo sei non possiamo essere sicuri delle considerazioni che possiamo trarne.

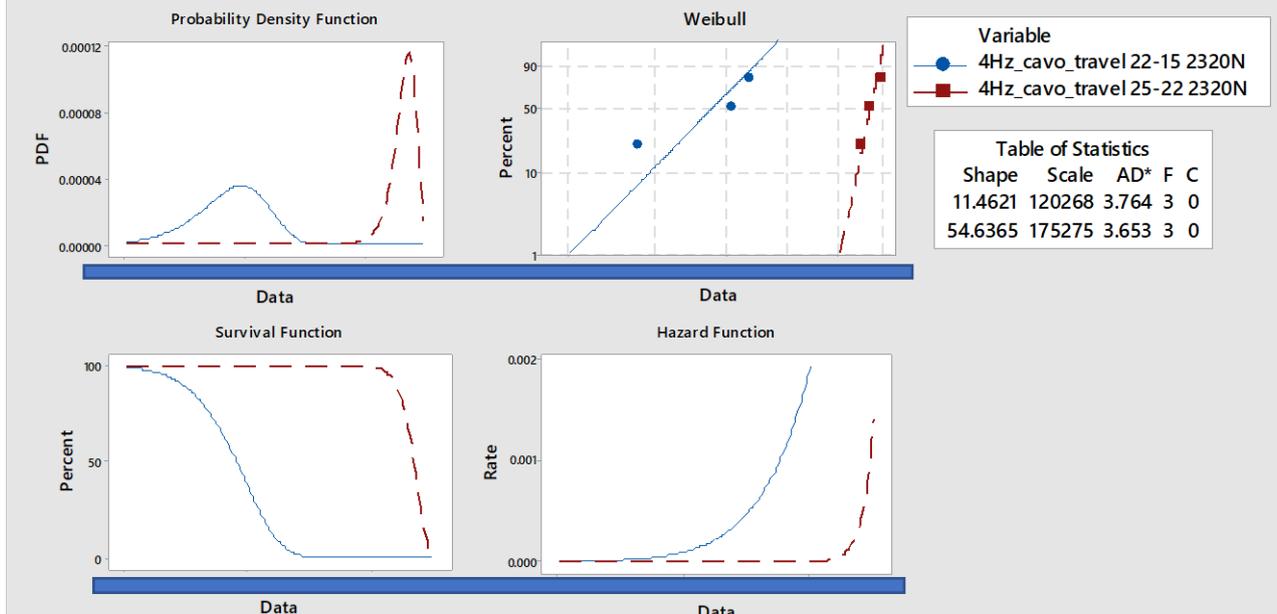
Sembra che la corsa non abbia alcun effetto importante sulla durata dell'HBL:



L'effetto della corsa è mostrato qui: la corsa lunga conferisce maggiore durata al cavo:

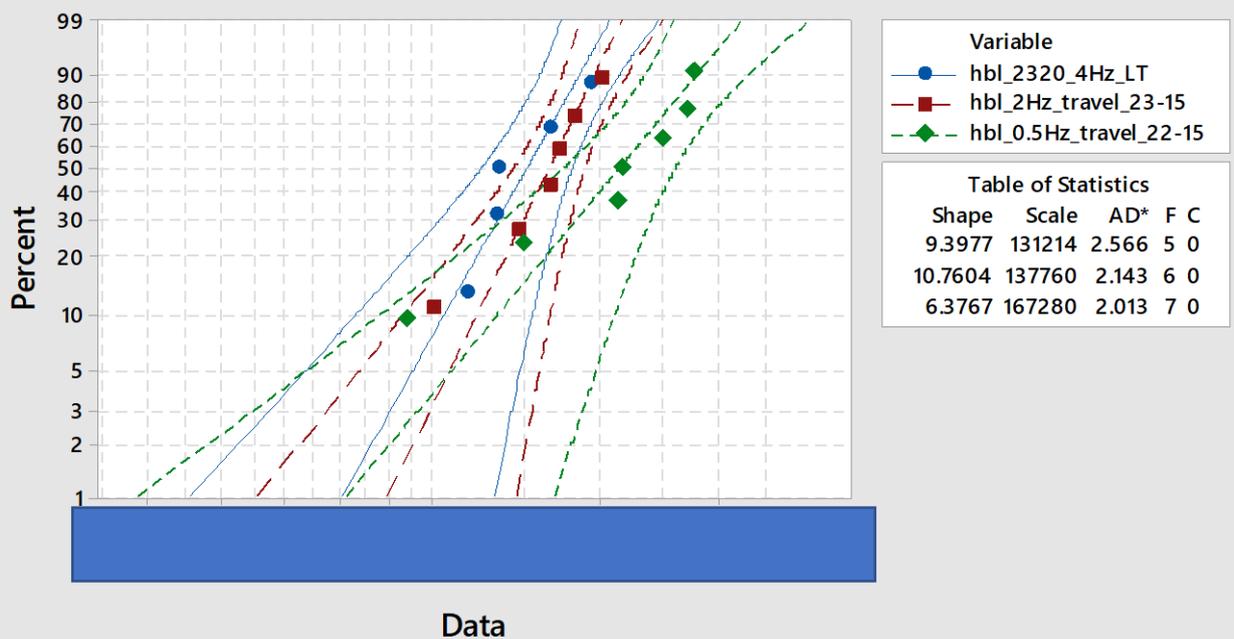


## Distribution Overview Plot for 4Hz\_cavo\_travel ; 4Hz\_cavo\_travel ML Estimates-Complete Data

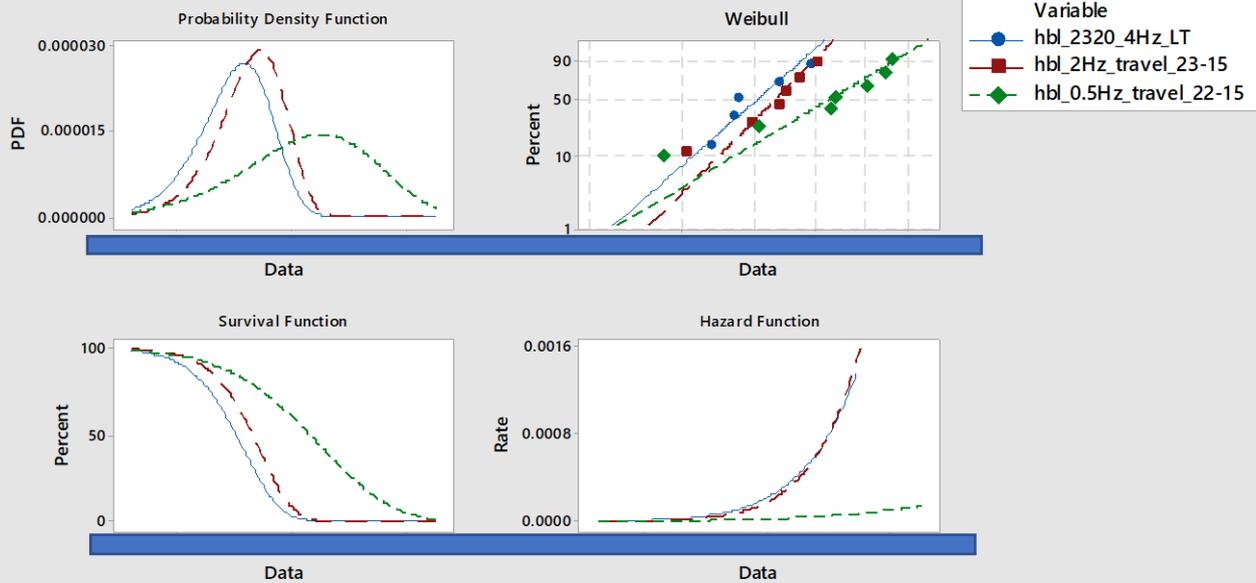


Un'altra considerazione importante è l'effetto della frequenza. L'aumento della velocità di applicazione con una corsa 'standard' tra 15-23 mm, incide negativamente sulla durata dell'HBL, come è possibile vedere dalle seguenti funzioni:

## Probability Plot for hbl\_2320\_4Hz; hbl\_2Hz\_trav; hbl\_0.5Hz\_tr Weibull - 95% CI Complete Data - ML Estimates



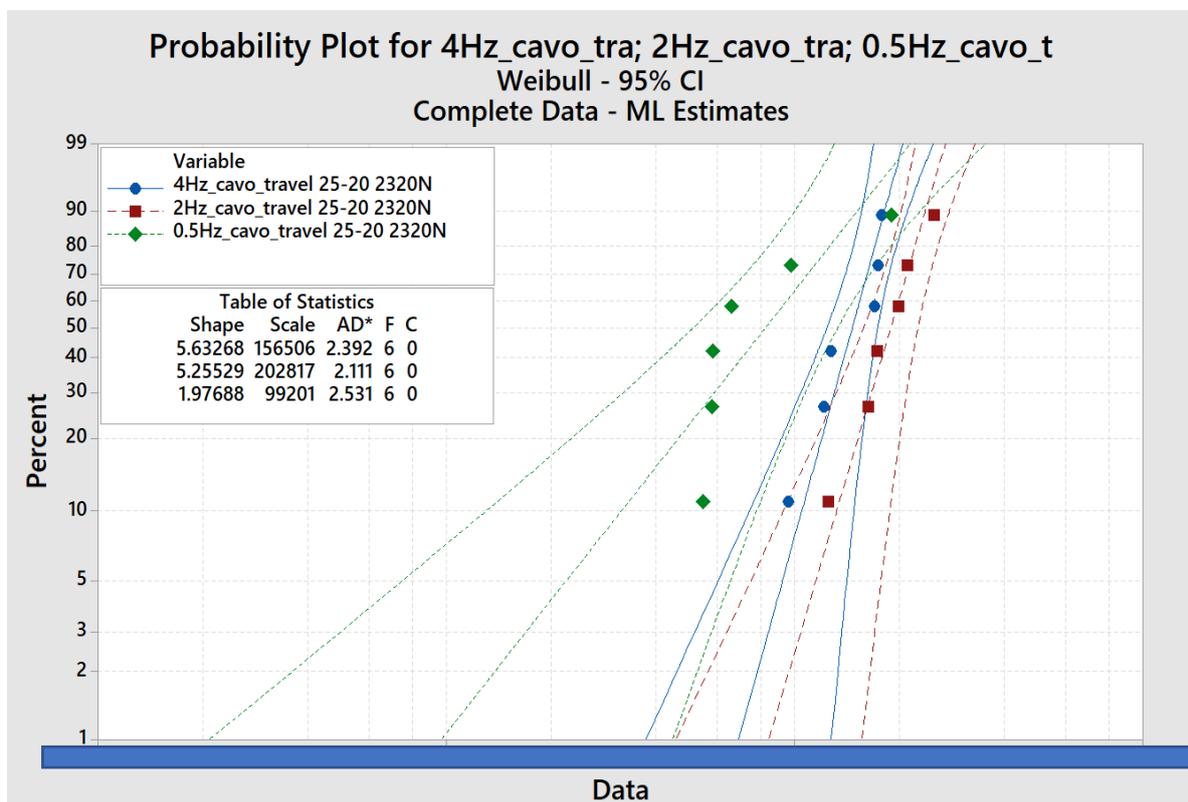
## Distribution Overview Plot for hbl\_2320\_4Hz; hbl\_2Hz\_trav; ... ML Estimates-Complete Data



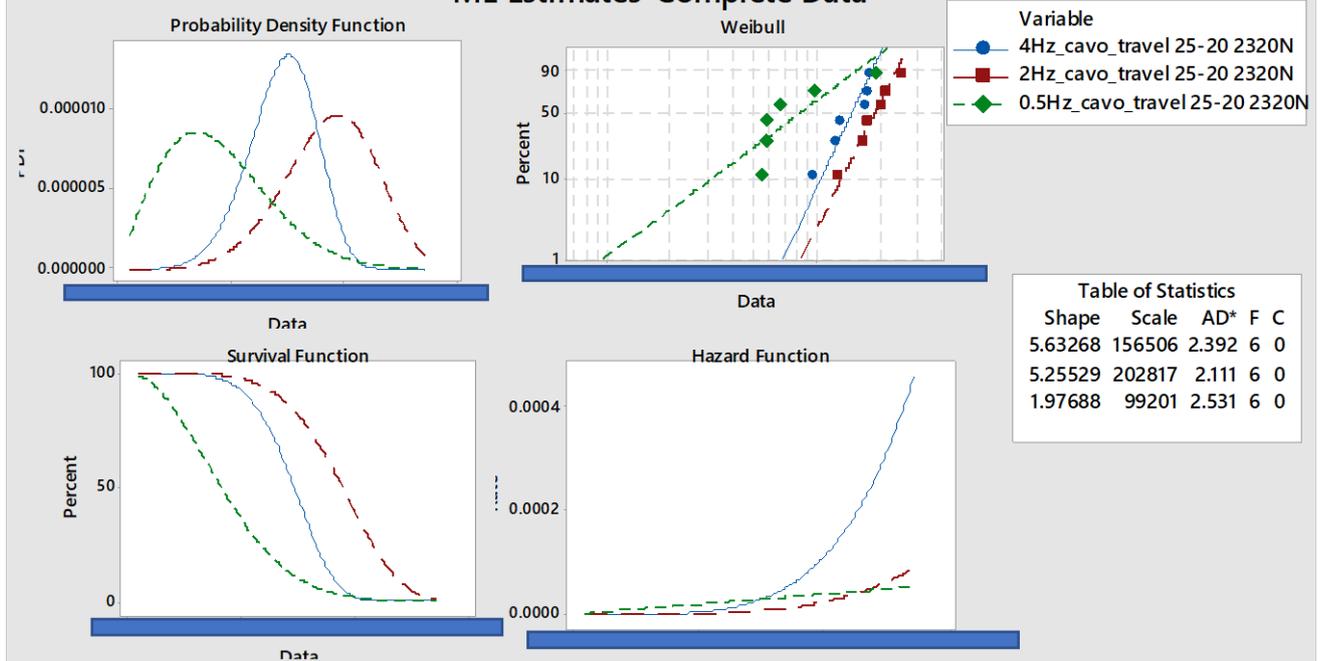
| Table of Statistics |        |       |   |   |
|---------------------|--------|-------|---|---|
| Shape               | Scale  | AD*   | F | C |
| 9.3977              | 131214 | 2.566 | 5 | 0 |
| 10.7604             | 137760 | 2.143 | 6 | 0 |
| 6.3767              | 167280 | 2.013 | 7 | 0 |

È evidente nei grafici precedenti come a bassa velocità (0,5 Hz) abbiamo una distribuzione dei dati più diffusa. Accelerando i test avrei una distribuzione di dati migliore con una deviazione standard più bassa.

Per il cavo, se consideriamo la corsa specifica 20-25mm, la vita a fatica è migliore a 2Hz:

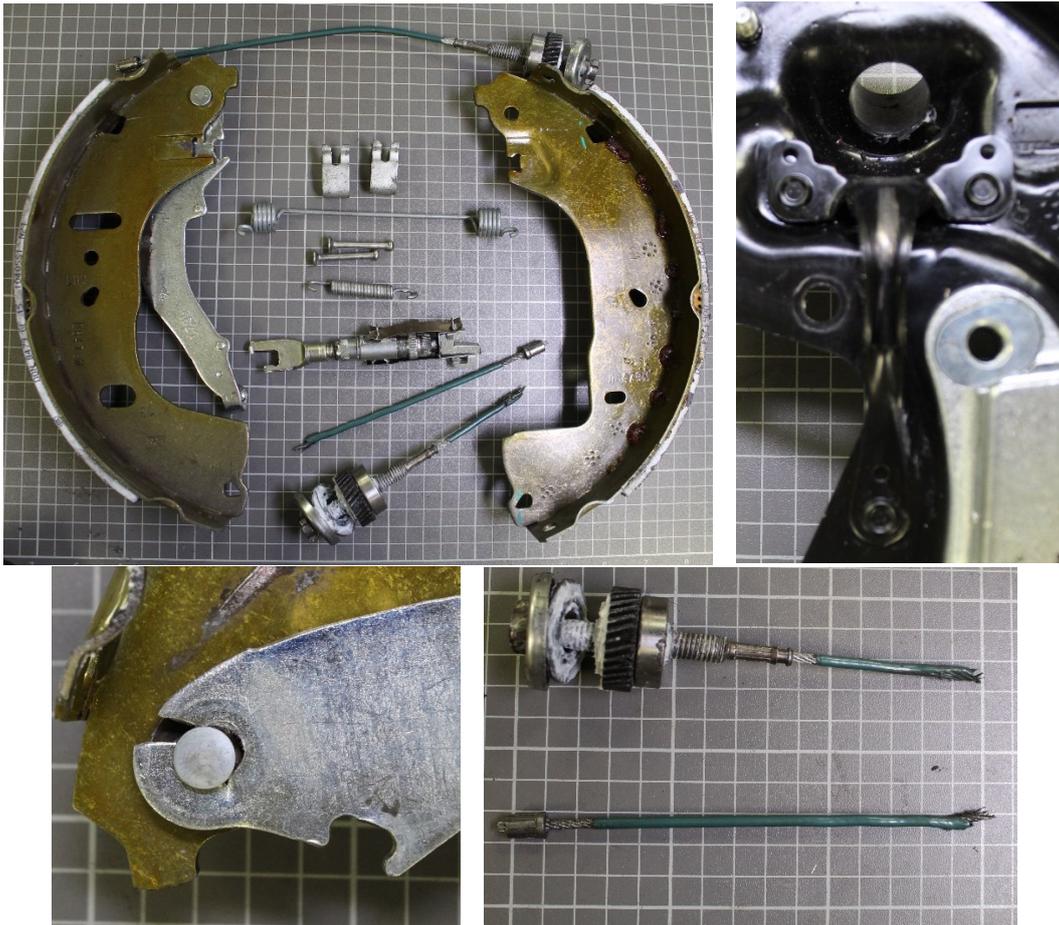


## Distribution Overview Plot for 4Hz\_cavo\_tra; 2Hz\_cavo\_tra; ... ML Estimates-Complete Data



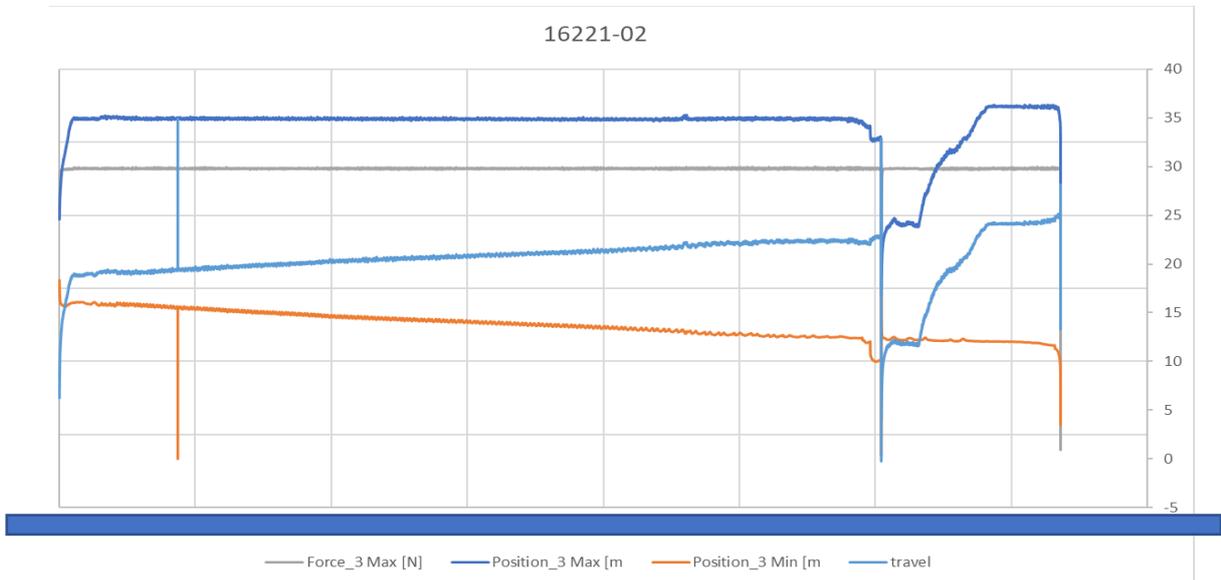
Quindi si può concludere che se si accelerassero i test, avrei dei risultati che danno una vita a fatica migliore di quella a velocità standard.

**Sample-1: (Test ID # 16221-02, LH side, FAM#5)**

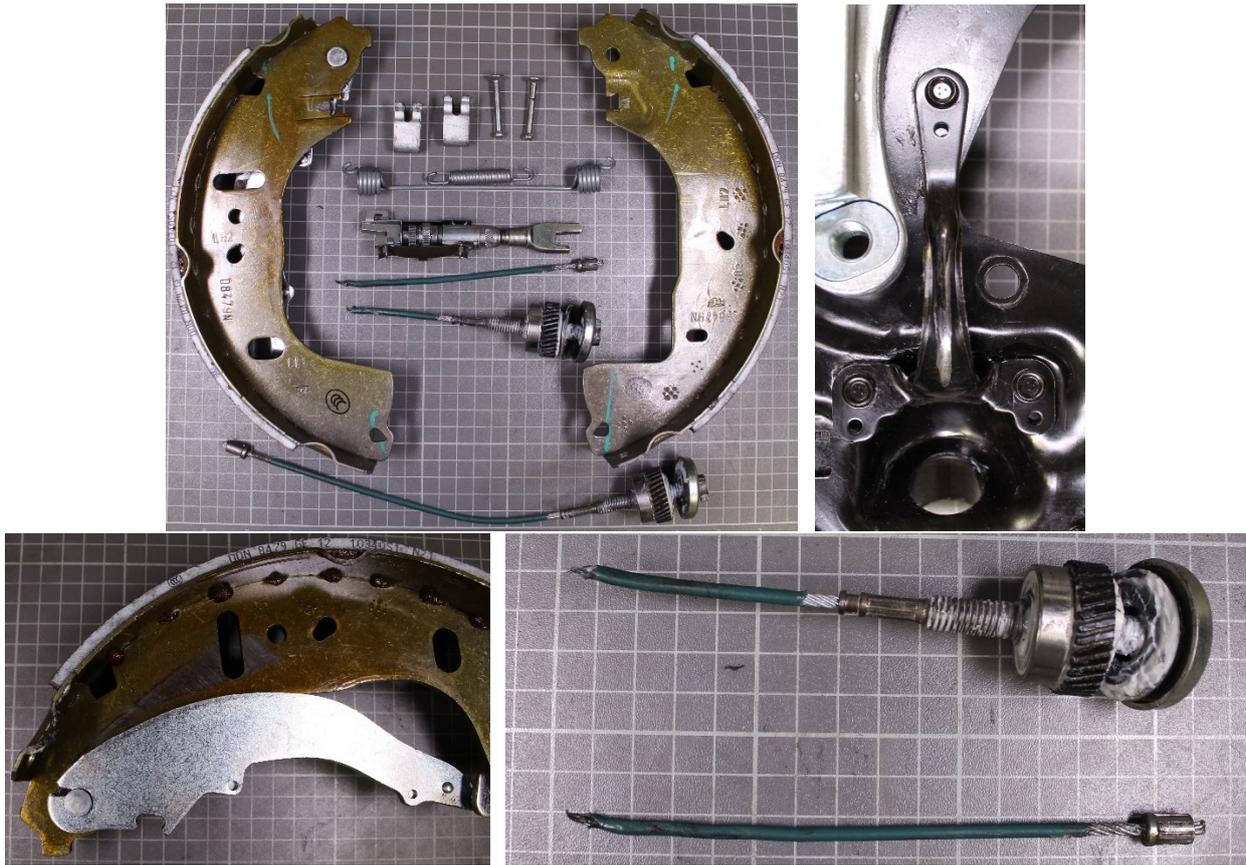


L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 20,55 mm:

- Cable broken in the cable guide zone.
- HBL broken in pin zone.

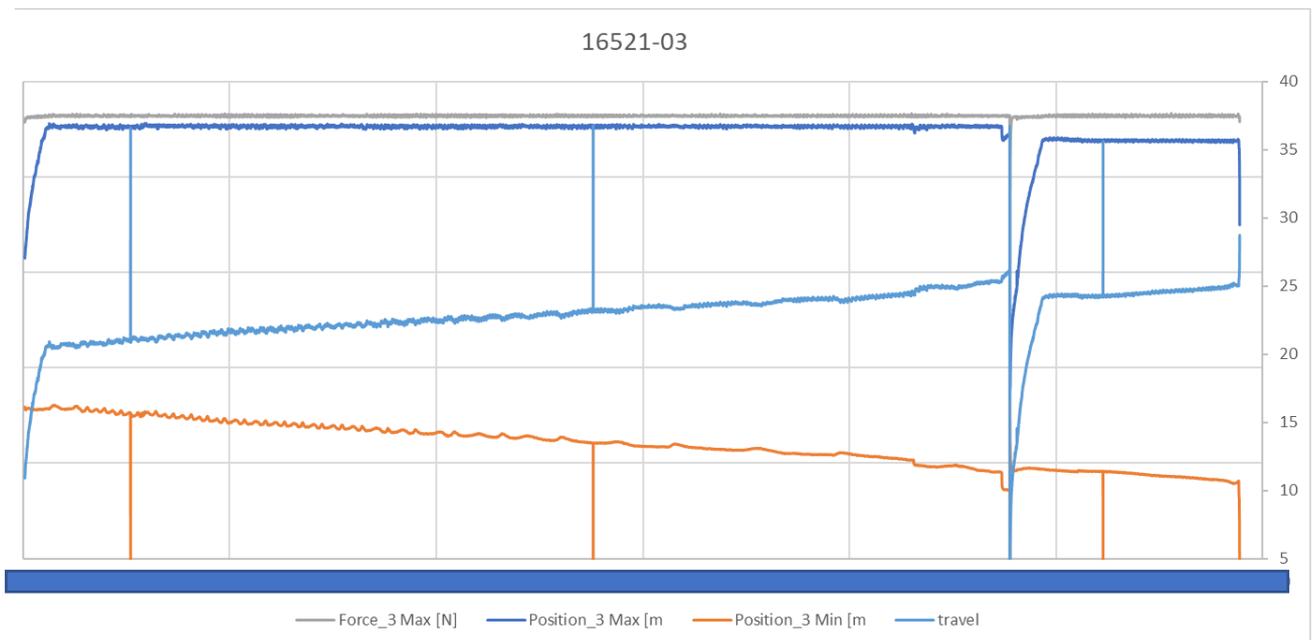


**Sample-2: (Test ID #16521-03, LH side, FAM#5)**



L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 22,89 mm:

- Cable broken in the cable guide zone.
- Adj broken in pin zone.

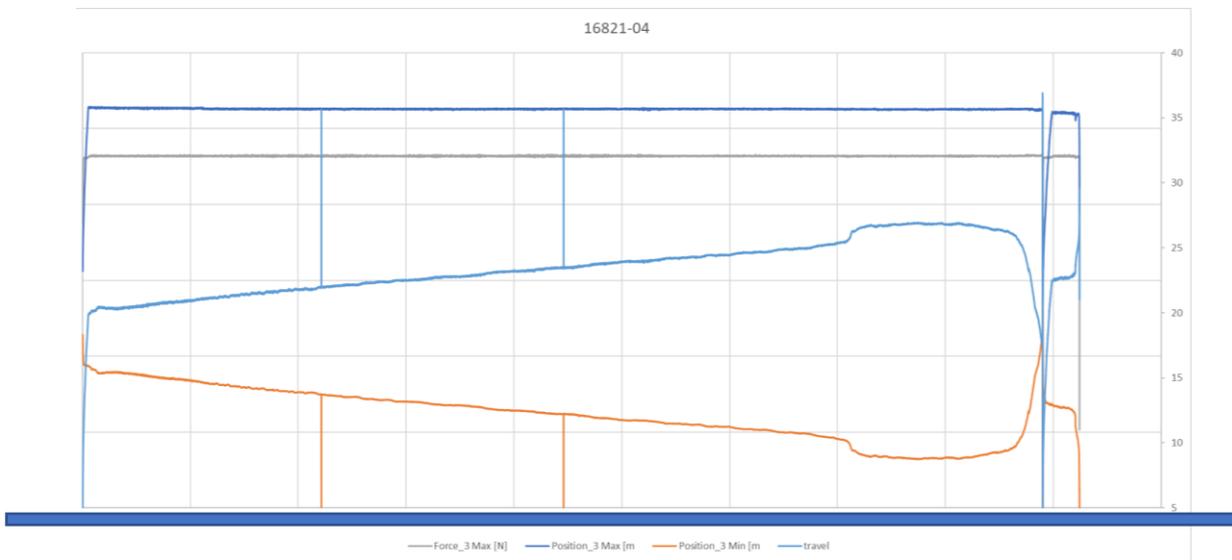


**Sample-3: (Test ID # 16821-04, LH side, FAM#5)**

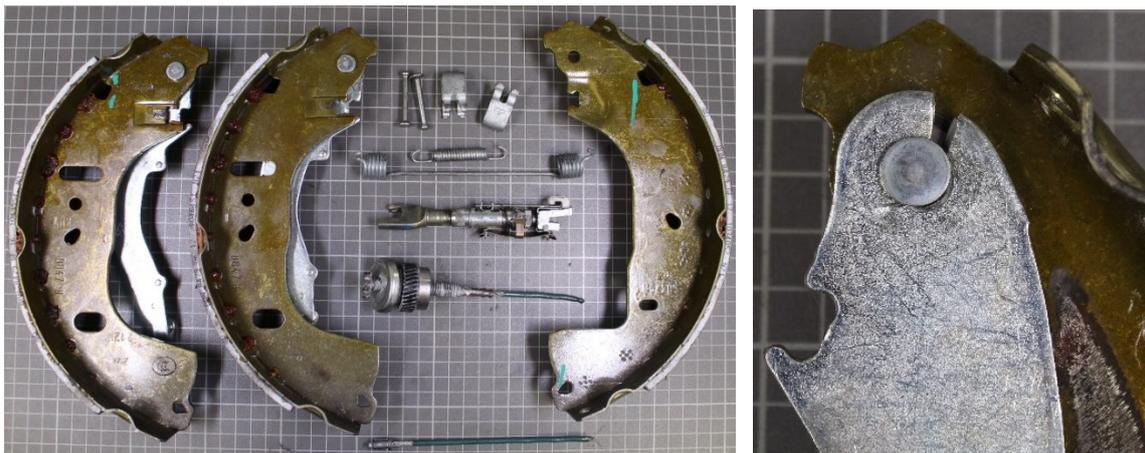


L'acquisizione storica del test è mostrata qui di seguito. La corsa media era di 23,38 mm:

- Cable broken in the cable guide zone.
- Adj broken in cross-struct; HBL broken in pin zone.

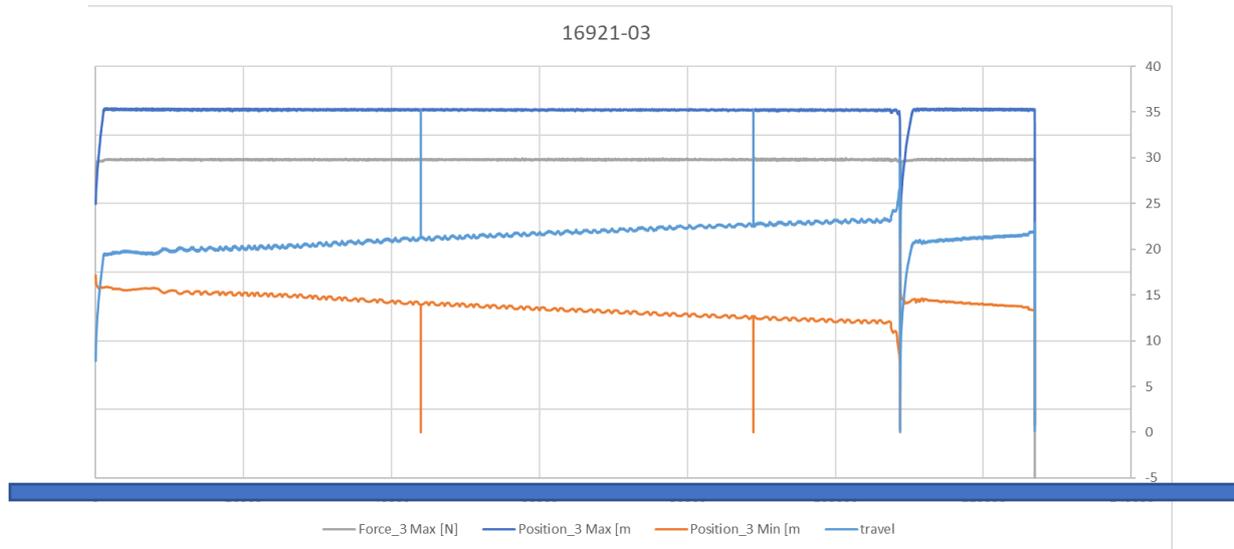


**Sample-4: (Test ID # 16921-03, LH side, FAM#5)**

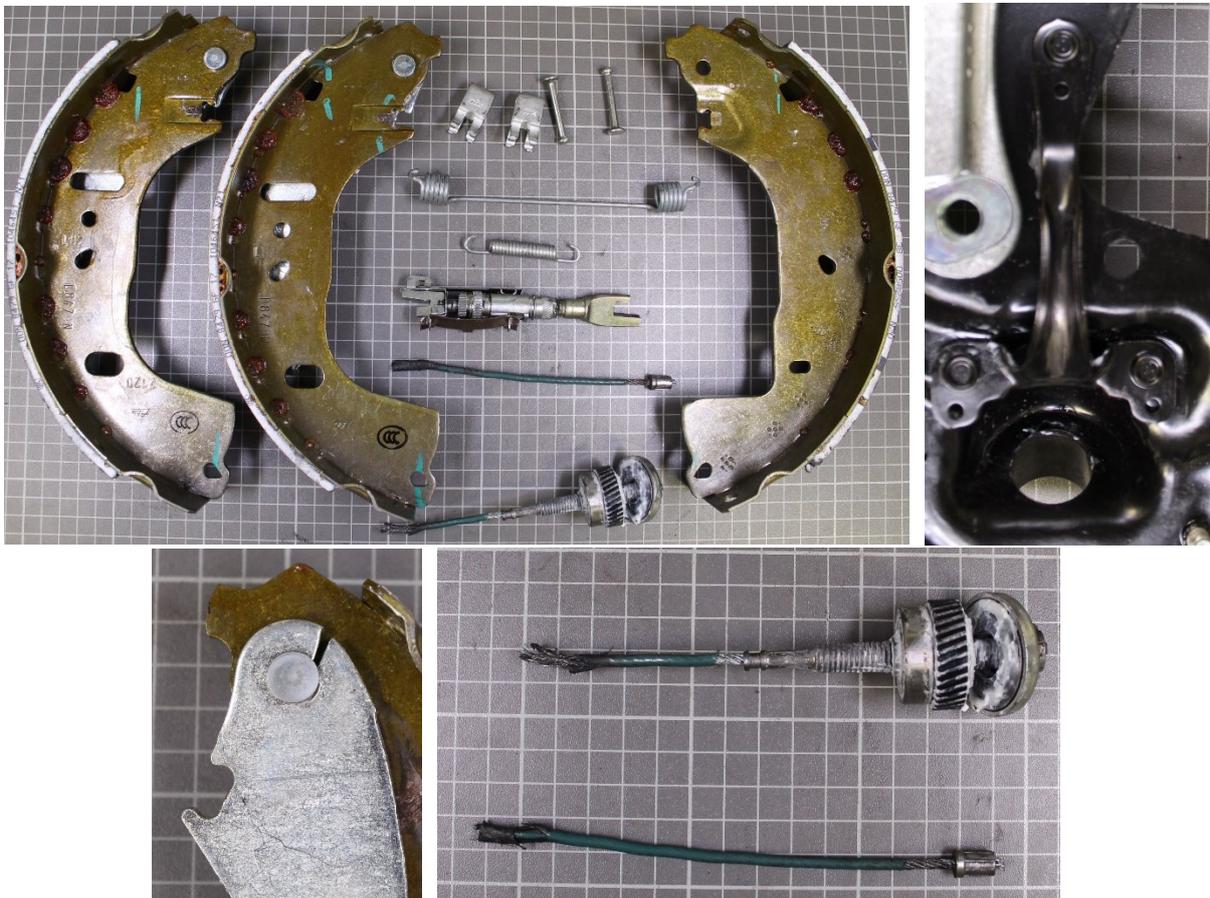


L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 21,32 mm:

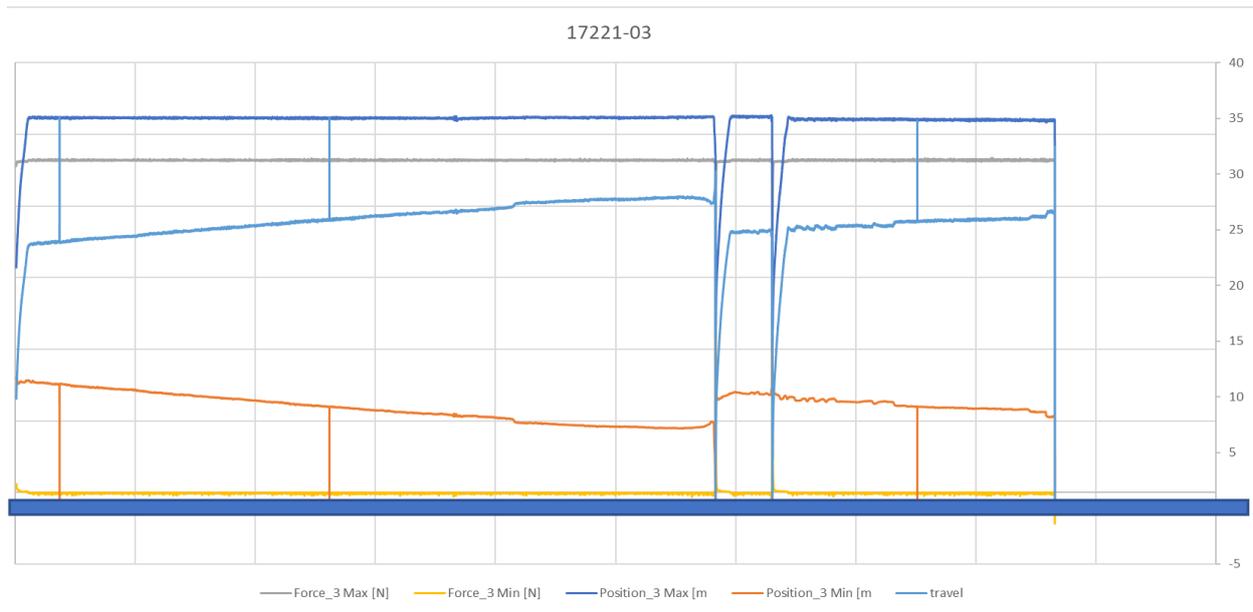
- HBL broken in pin zone.
- Cable broken in the cable guide zone.



**Sample-5: (Test ID # 17221-03, LH side, FAM#5)**



L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 25,62 mm:

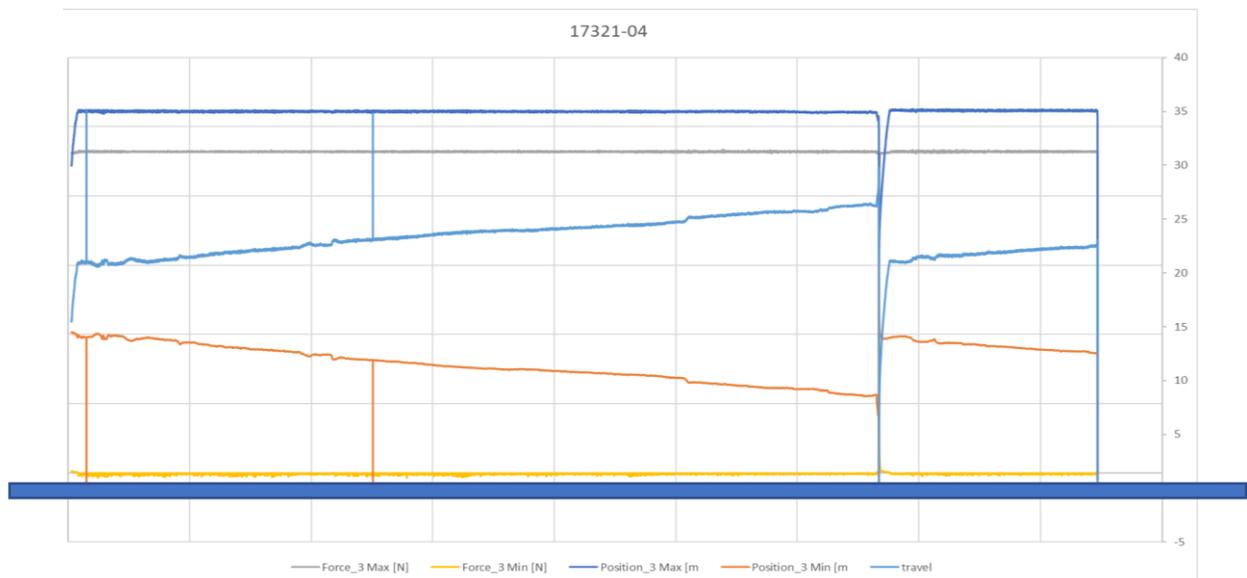


- HBL broken in pin zone.
- Cable broke in cable guide zone.

**Sample-6: (Test ID # 17321-04, LH side, FAM#5)**

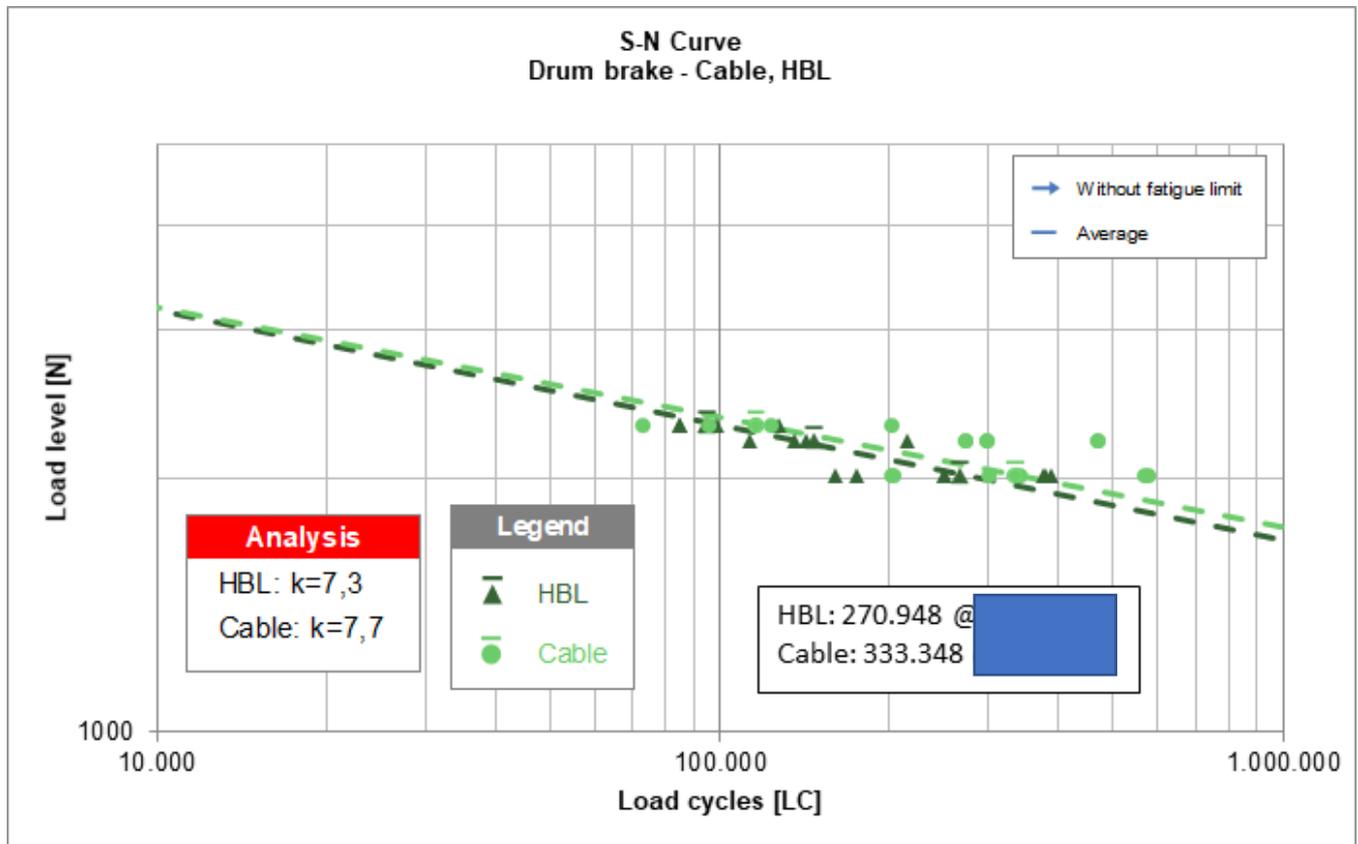


L'acquisizione storica del test è mostrata qui. La corsa media era di 23,13 mm:



## Conclusioni finali

Siccome non si è riusciti a eseguire test a diversi carichi di lavoro, per tracciare le curve di Wohler, si sono presi in considerazione i test eseguiti sui vecchi banchi di lavoro a un carico diverso: si nota che il cavo ha una resistenza a fatica all'incirca del 20% maggiore a quella della leva.



L'analisi dei dati ci ha permesso di fare alcune affermazioni su quanto riguarda il set-up ottimale:

A 0.5 Hz la corsa standard (15-20 mm) è quella che porta a una migliore durata per quanto riguarda il freno di stazionamento in generale: questo intervallo di operazione è la migliore configurazione per la leva ed è accettabile anche per il cavo, siccome questo è inversamente proporzionale alla corsa.

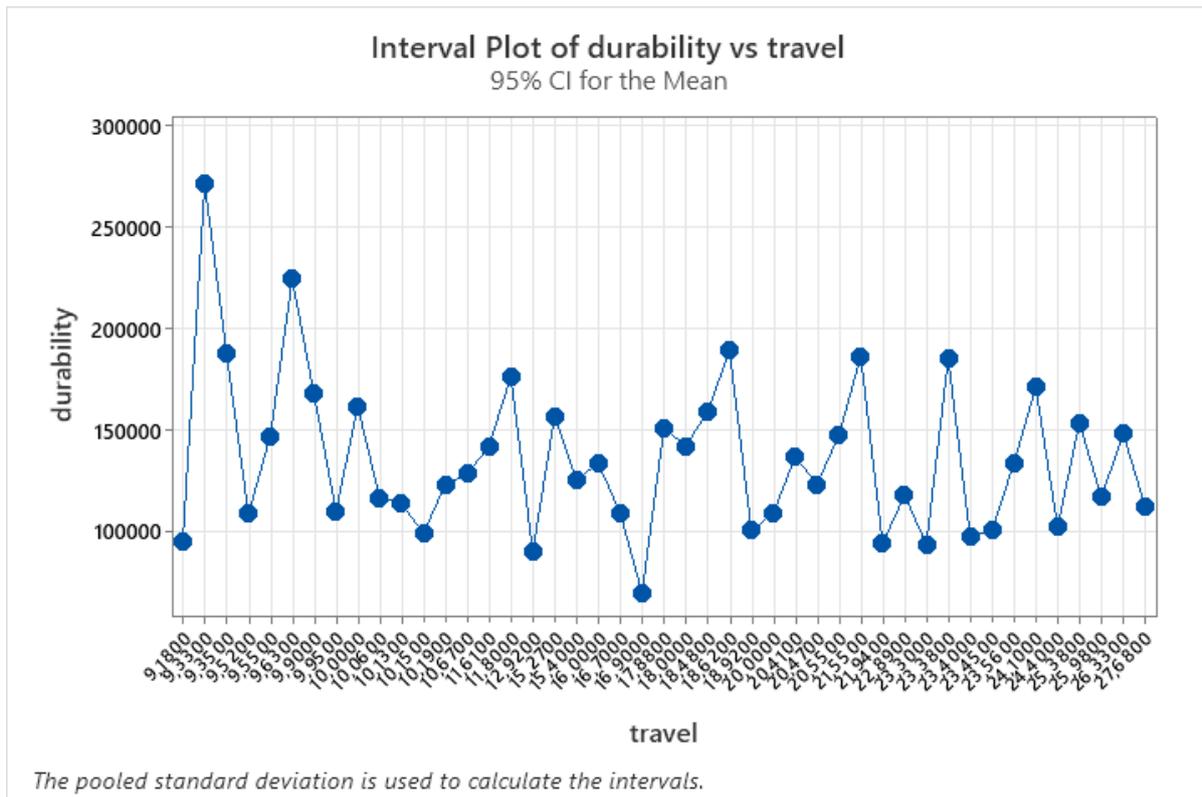
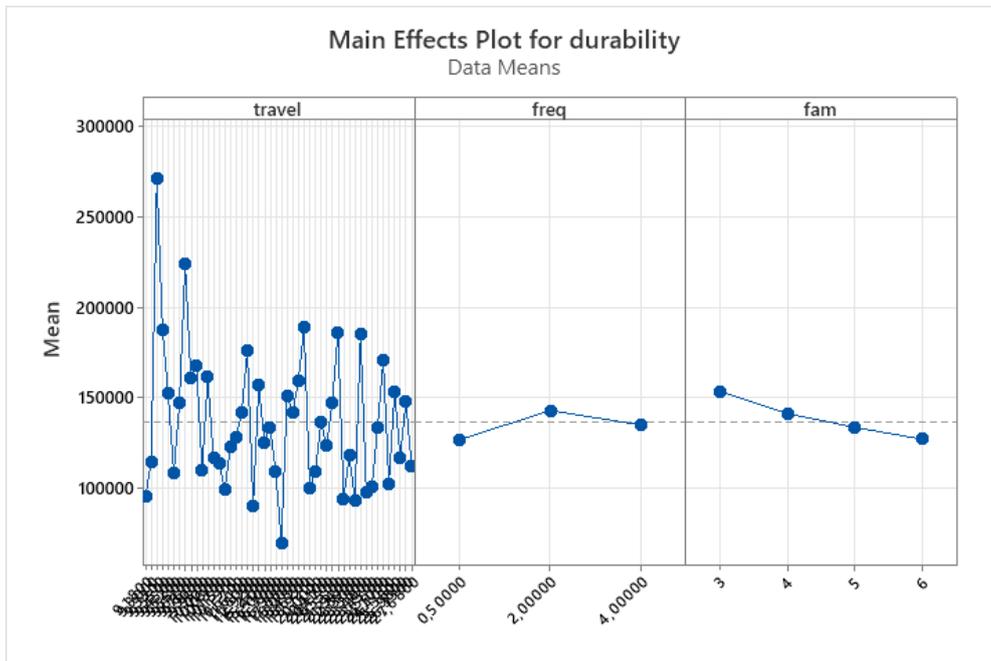
A 2Hz possiamo concludere che sia per la leva che per il cavo il set-up ottimale corrisponde a una corsa molto bassa: per quanto riguarda la leva si hanno distribuzioni di dati molto simili per tutti i livelli di corsa, a parte quello dai 10 ai 8 mm in cui abbiamo una distribuzione di rotture più ampia e poco ripetibile: inoltre questa configurazione porta sempre anche alla rottura anomala dell'adj; per quanto riguarda il cavo abbiamo lo stesso andamento dei 0.5 Hz, però in cui l'effetto della corsa è molto meno influente, portando ad avere distribuzioni di rotture molto vicine tra loro per tutti i livelli di corsa.

Confrontando i dati con corsa standard alle diverse frequenze, abbiamo concluso, che, per quanto riguarda la leva, la vita a fatica diminuisce all'aumentare della frequenza con distribuzioni con deviazioni standard sempre più basse. Quindi velocizzando i test otteniamo risultati più limitanti sulla vita del nostro componente. Quindi, si può concludere che velocizzare può essere utile quando occorre confrontare diverse soluzioni per trovare quella ottimale, ma non per valutare l'effettiva affidabilità in esercizio.

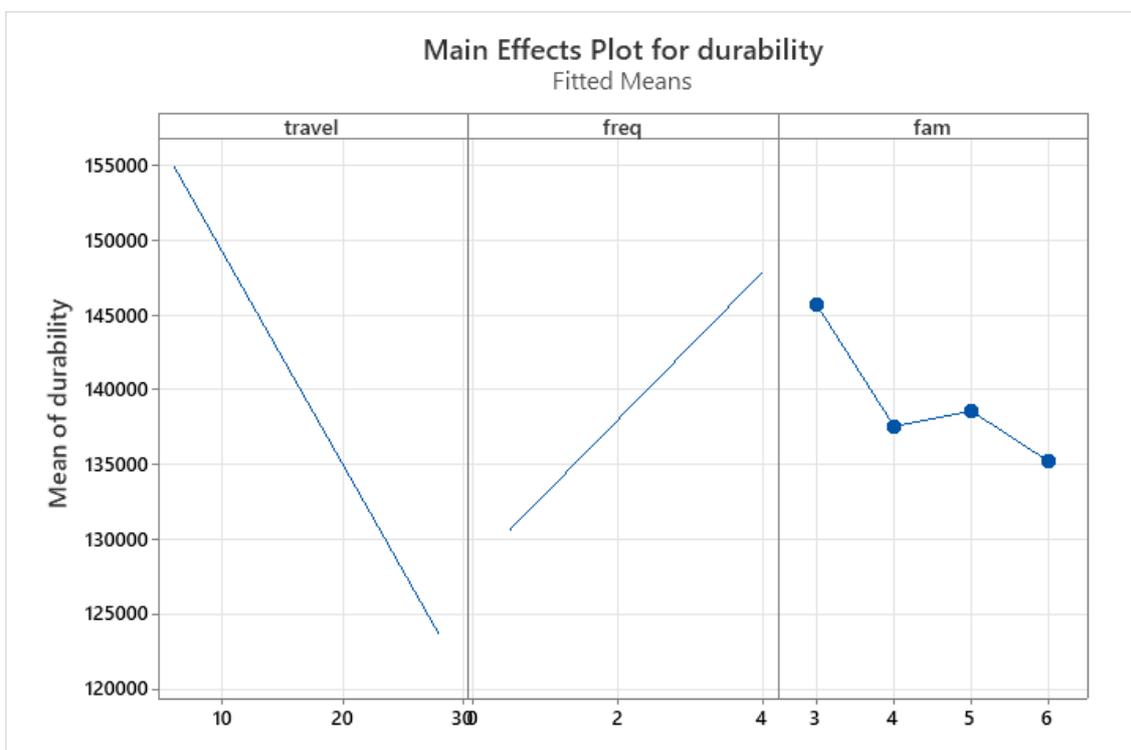
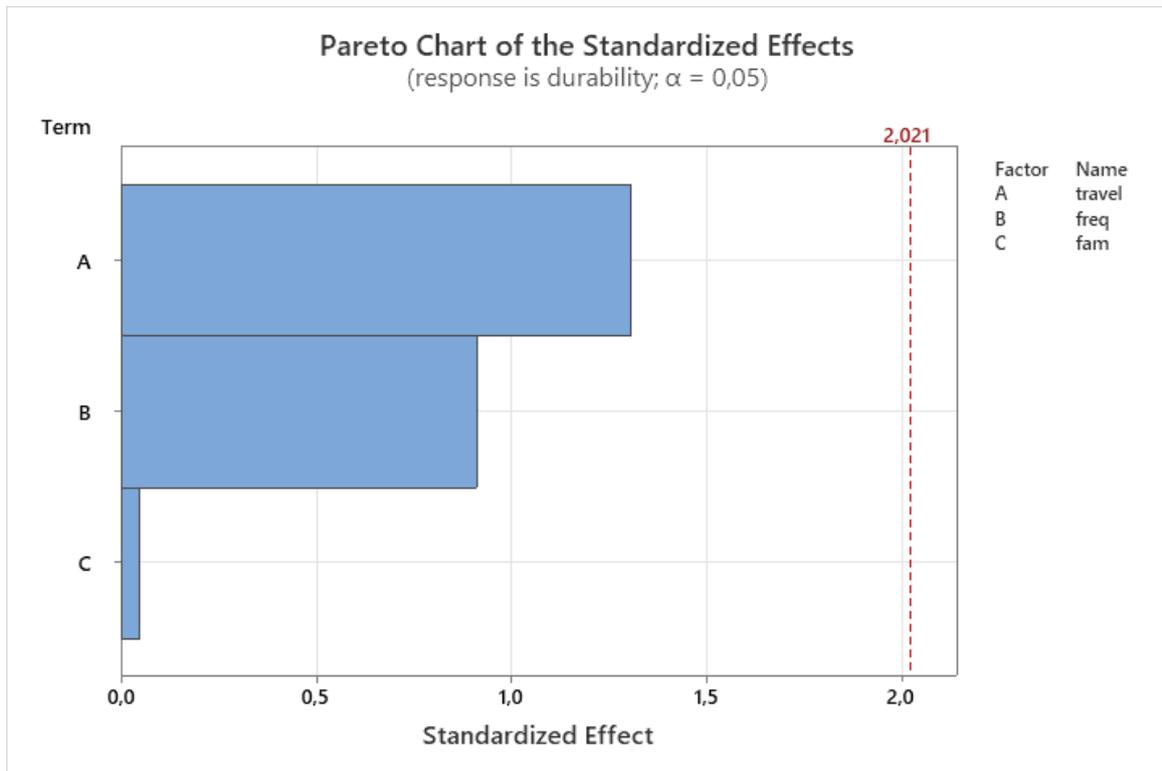
Mentre per quanto riguarda il cavo, velocizzando i test a frequenze maggiori, la vita a fatica aumenta rispetto alla velocità standard 0.5Hz: a 2Hz ho i risultati migliori. Quindi, per fornire risultati veritieri della vita a fatica del cavo, dovrò tenere in considerazione di trasporre questi risultati di test velocizzati all'interno del campo di lavoro standard a 0.5Hz.

### Leva Hand Brake Lever

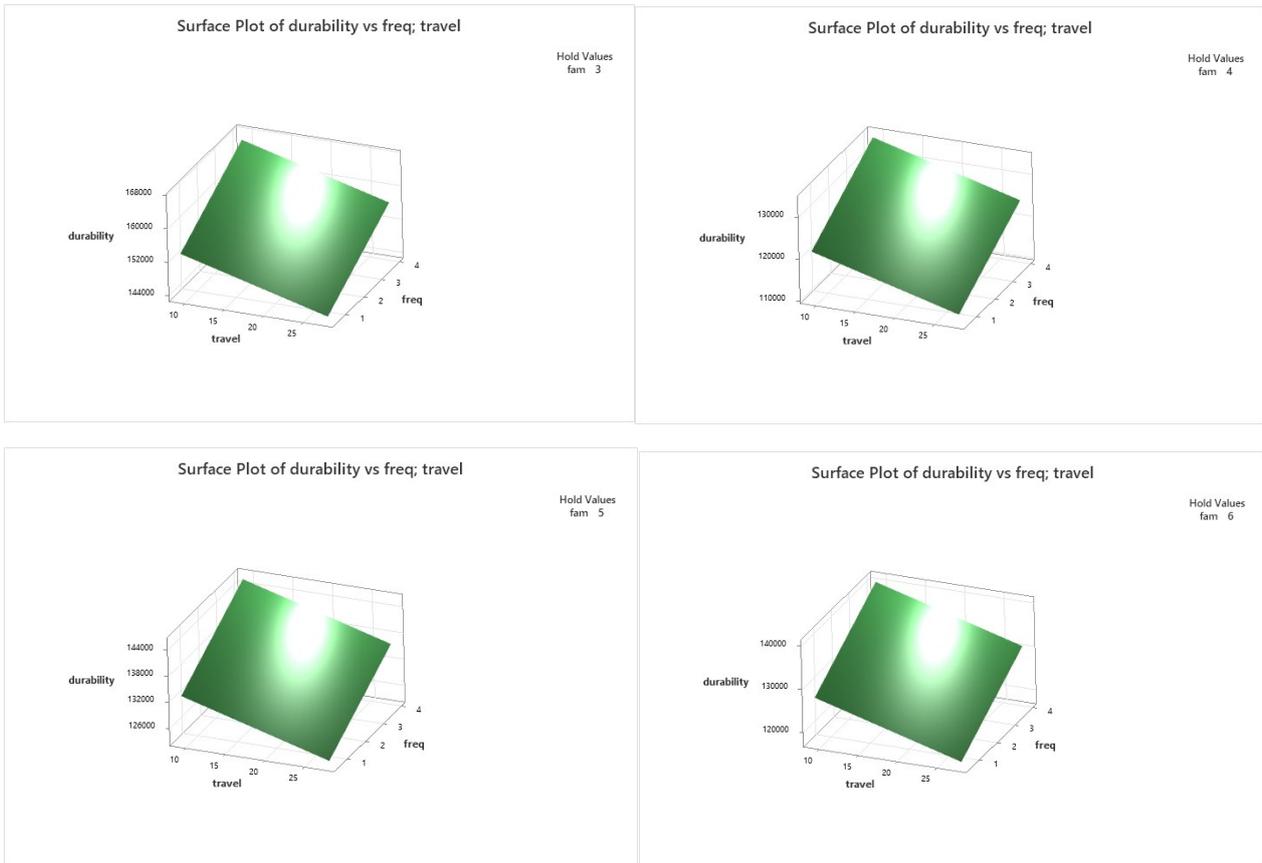
Inoltre, abbiamo considerato l'andamento medio per ogni frequenza (considerando tutte le corse) e ogni corsa (considerando tutte le frequenze), verificando quindi le distribuzioni di Weibull.



Provando a fare una superficie di regressione dei dati sperimentali, abbiamo notato che i fattori di frequenza, banco prova e corsa sembrano non essere abbastanza influenti da considerare la superficie modellizzata affidabile: questo può essere dovuto al fatto che il nostro data-set non è equilibrato (siccome abbiamo più dati a 0.5Hz e 2Hz); comunque sia da questa regressione non affidabile abbiamo provato a analizzare il comportamento medio delle rotture della leva ottenendo il seguente grafico, in cui si nota che il banco di lavoro ha poca influenza, ovvero hanno lavorato tutti allo stesso modo.

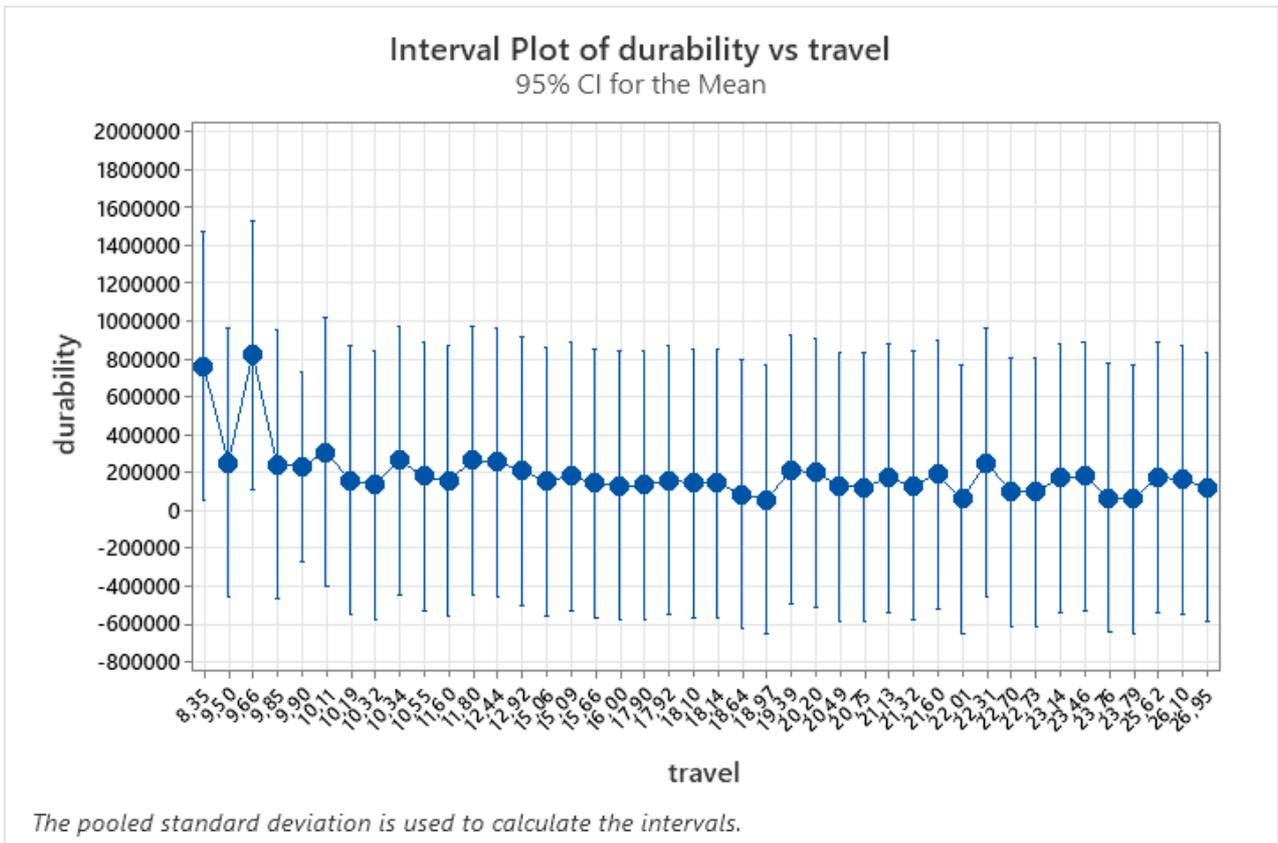
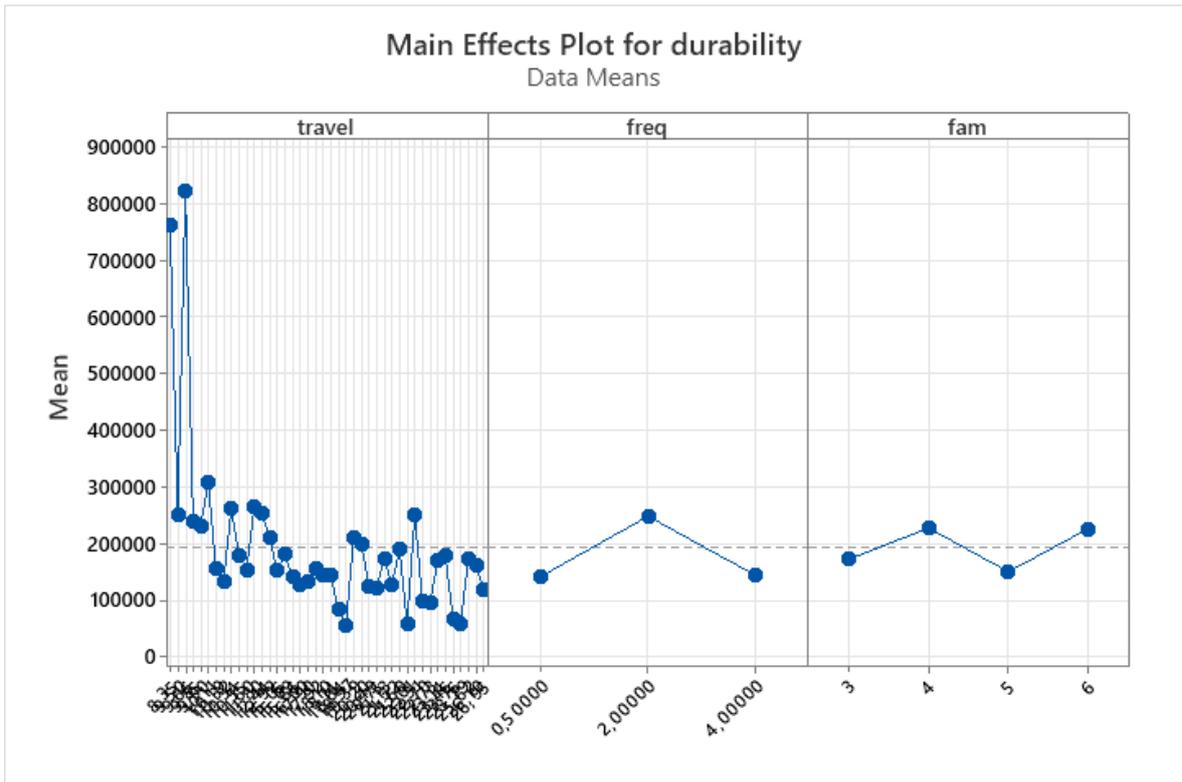


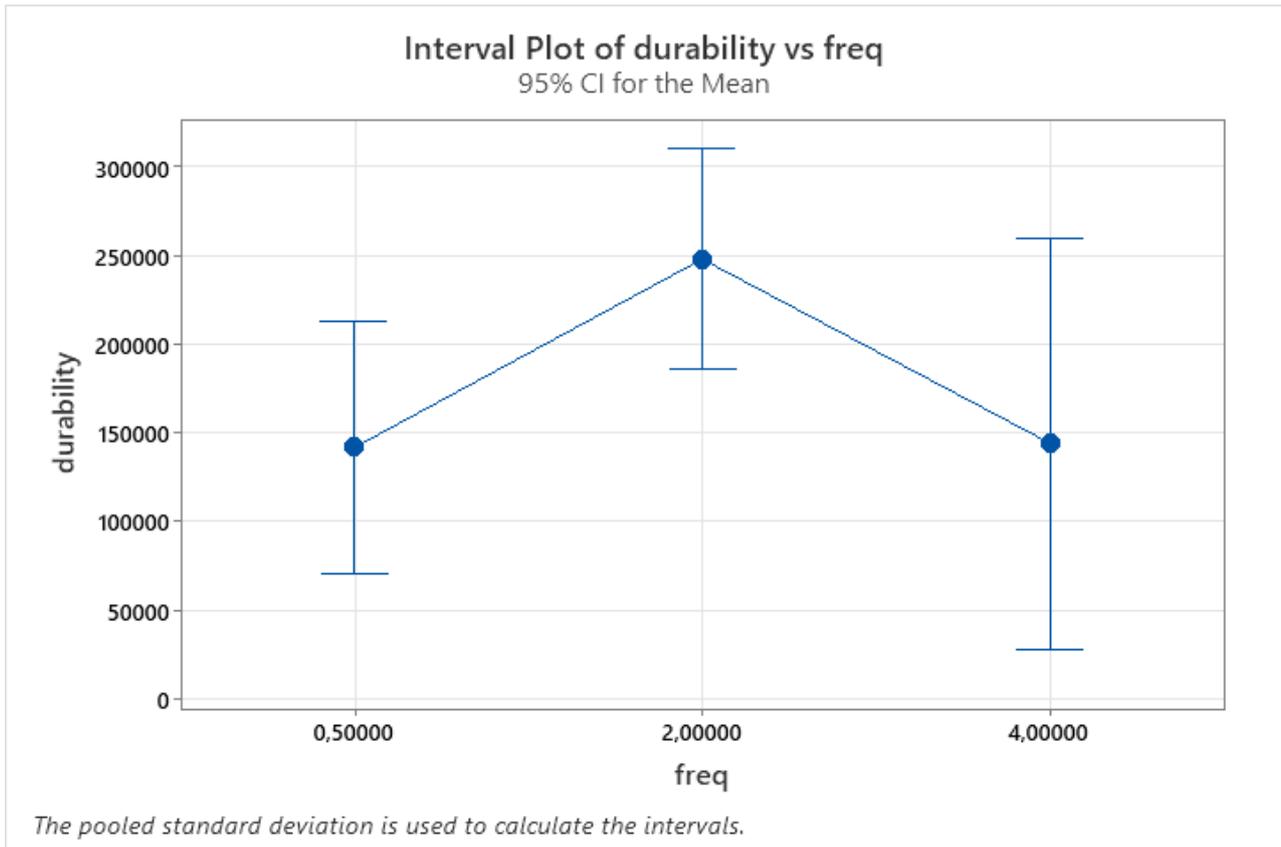
Le superfici di regressione sono le seguenti:



## Cavo

Anche per il cavo abbiamo svolto la stessa analisi sull'andamento medio dei dati sperimentali in base ai fattori influenti, ottenendo i risultati seguenti:





Invece per il cavo siamo riusciti a trovare una regressione lineare affidabile che mostra i seguenti andamenti: da notare che anche per il cavo i banchi di lavoro allo stesso modo.

