



# POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aeronautica

**“ANALISI STATICA CARRELLO PRINCIPALE M346:  
confronto teorico/sperimentale prove di resistenza e prove di rigidità”**

Relatore: Prof. Giuseppe Sala

Alessandro Pagani 735422

Anno Accademico 2012/13



# INDICE

<b>SOMMARIO</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	<b>11</b>
1.1 L'AZIENDA .....	11
1.2 L'ADDESTRATORE AVANZATO M-346 .....	12
1.3 SCHEDE TECNICHE M-346 .....	14
<b>2 STRUTTURA DEL CARRELLO PRINCIPALE M-346</b> .....	<b>17</b>
2.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....	17
2.2 PROVE SPERIMENTALI DI RESISTENZA .....	21
2.2.1 <i>Descrizione delle prove di resistenza</i> .....	21
2.2.2 <i>Risultati delle prove di resistenza</i> .....	25
2.2.2.1 Limit load case LC1 - 2pt spin up .....	28
2.2.2.2 Limit load case LC2 - 2pt spring back .....	31
2.2.2.3 Limit load case LC3 - 2pt drift landing .....	34
2.2.2.4 Limit load case LC4 - 2pt braked roll.....	37
2.3 PROVE SPERIMENTALI DI RIGIDEZZA .....	40
2.3.1 <i>Descrizione delle prove di rigidezza</i> .....	40
2.3.2 <i>Risultati delle prove di rigidezza</i> .....	43
<b>3 MODELLO AD ELEMENTI FINITI DEL CARRELLO PRINCIPALE</b> .....	<b>46</b>
3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO .....	48
3.1.1 <i>Parti modellate con mesh 3D</i> .....	50
3.1.2 <i>Elementi bar di collegamento (Pin)</i> .....	54
3.1.3 <i>Vincoli "MPC" di contatto</i> .....	55
3.1.3.1 Pintle pin-Main fitting.....	55
3.1.3.2 Main fitting-Upper torque link .....	56
3.1.3.3 Upper torque link-Lower torque link.....	58
3.1.3.4 Lower torque link-Sliding tube .....	59
3.1.3.5 Main fitting-Sliding tube .....	60
3.1.4 <i>Vincoli "SPC" d'interfaccia</i> .....	62
3.1.5 <i>Descrizione del Drag Brace</i> .....	62
3.1.5.1 Simulazione del Drag Brace.....	64



3.1.6	Descrizione del Wheel Axle .....	66
3.1.7	Sistemi di riferimento per le condizioni di prova.....	67
3.1.8	Proprietà dei materiali .....	68
3.2	ANALISI MODALE .....	69
3.2.1	Modale non vincolata .....	70
3.2.2	Modale vincolata .....	71
3.3	APPLICAZIONE DEI CARICHI .....	72
<b>4</b>	<b>CONFRONTO DEI RISULTATI (RIGIDEZZA) .....</b>	<b>77</b>
4.1	CORRELAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI .....	77
<b>5</b>	<b>CONFRONTO DEI RISULTATI (RESISTENZA).....</b>	<b>86</b>
5.1	CORRELAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI .....	86
5.2	CORRELAZIONE DELLE DEFORMAZIONI.....	92
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>100</b>
<b>8</b>	<b>APPENDICE .....</b>	<b>101</b>
8.1	FILE DI LANCIO .....	101
8.1.1	File di lancio: MLG_10_lc_02.bdf.....	102
8.1.2	File di lancio: MLG_72_2pt_spin_up.bdf.....	103
8.1.3	File di lancio: Modal_0_nv.bdf.....	104
8.1.4	FEM_MLG\Modal\mlg_0:.....	105
8.1.5	FEM_MLG\Stiffness\mlg10:.....	106
8.1.6	FEM_MLG\Stiffness\mlg180:.....	107
8.1.7	FEM_MLG\Stiffness\mlg350:.....	108
8.1.8	FEM_MLG\Strength:.....	109



## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - M-346.....	13
Figura 2 - Tre Viste M-346.....	15
Figura 3 - MLG Shock Strut e MLG Drag Brace .....	18
Figura 4 - Componenti MLG .....	19
Figura 5 - Dimensioni di riferimento MLG .....	20
Figura 6 - Schema impianto prove di resistenza.....	22
Figura 7 - Schema carichi applicati MLG (LH) .....	24
Figura 8 - Prove di resistenza: Spostamenti.....	25
Figura 9 - Prove di resistenza: Posizione Estensimetri.....	27
Figura 10 - Setup LC1 - 2pt Spin Up.....	28
Figura 11 - Setup LC2 - 2pt Spring Back .....	31
Figura 12 - Setup LC3 - 2pt Drift Landing .....	34
Figura 13 - Setup LC4 - 2pt Braked Roll.....	37
Figura 14 - Prove di rigidezza: Configurazione carico +X.....	40
Figura 15 - Prove di rigidezza: Configurazione carico -X.....	41
Figura 16 - Prove di rigidezza: Configurazione carico +Y.....	41
Figura 17 - Prove di rigidezza: Configurazione carico -Y.....	42
Figura 18 - Prove di rigidezza: Spostamenti.....	44
Figura 19 - Punti d'interfaccia MLG .....	47
Figura 20 - Modello 3D del MLG .....	47
Figura 21 - Modello 3D del MLG .....	49
Figura 22 - Pintle pin – MF .....	55
Figura 23 - MPC Pintle pin – MF .....	56
Figura 24 - MF–UTL .....	56
Figura 25 - MPC MF–UTL - Contatto Y Negativo .....	57
Figura 26 - MPC MF–UTL - Contatto Y Positivo.....	57
Figura 27 - UTL–LTL.....	58
Figura 28 - MPC UTL–LTL .....	58



Figura 29 - LTL-ST .....	59
Figura 30 - MPC LTL-ST - Contatto Y Negativo .....	59
Figura 31 - MPC LTL-ST - Contatto Y Positivo.....	59
Figura 32 - MPC MF-ST .....	61
Figura 33 - Vincoli SPC .....	62
Figura 34 - Mesh Drag Brace .....	64
Figura 35 - Upper Drag Brace .....	65
Figura 36 - Lower Drag Brace.....	65
Figura 37 - Wheel Axle .....	66
Figura 38 - MPC Wheel Axle.....	66
Figura 39 - MLG SAT 10 - SAT 350 .....	67
Figura 40 - Modi non vincolati.....	70
Figura 41 - Modi vincolati.....	71
Figura 42 - Applicazione dei carichi .....	72
Figura 43 - 2pt Drift Landing RH.....	73
Figura 44 - 2pt Braked Roll.....	73
Figura 45 - Carichi Rigidzza: LC 12 SAT 10.....	74
Figura 46 - Carichi Resistenza: LC 2pt Drift Landing RH.....	74
Figura 47 - Carichi Resistenza: LC 2pt Braked roll .....	75
Figura 48 - Diagramma Rigidzze.....	75
Figura 49 - Pressurizzazione SAT 10 e SAT 350.....	76
Figura 50 - Spostamento Punto 1 vs Load Case.....	79
Figura 51 - Spostamento Punto 2 vs Load Case .....	80
Figura 52 - Spostamento Punto 6 vs Load Case .....	80
Figura 53 - Spostamento Punto 7 vs Load Case .....	81
Figura 54 - Spostamento Punto 8 vs Load Case .....	81
Figura 55 - Spostamento Punti 1-8 vs Load Case 1-6 .....	82
Figura 56 - Spostamento Punti 1-8 vs Load Case 7-12 .....	83
Figura 57 - Spostamento Max. vs Load Case 1-12.....	84
Figura 58 - Spostamenti LC1 - 2pt Spin Up.....	89



Figura 59 - Spostamenti LC2 - 2pt Spring Back .....	89
Figura 60 - Spostamenti LC3 - 2pt Drift Landing RH.....	90
Figura 61 - Spostamenti LC4 - 2pt Braked Roll.....	90
Figura 62 - Deformazioni del Punto 1 vs Load Cases .....	94
Figura 63 - Deformazioni del Punto 2 vs Load Cases .....	95
Figura 64 - Deformazioni del Punto 3 vs Load Cases .....	96
Figura 65 - Deformazioni del Punto 4 vs Load Cases .....	97
Figura 66 - Deformazioni del Punto 5 vs Load Cases .....	98



## INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 - Abbreviazioni.....	16
Tab. 2 - Prove di resistenza: Condizioni di carico limite .....	23
Tab. 3 - Prove di resistenza: Posizione e direzione degli spostamenti .....	26
Tab. 4 - Risultati LC1 - 2pt Spin Up: Spostamenti .....	29
Tab. 5 - Risultati LC1 - 2pt Spin Up: Deformazioni .....	30
Tab. 6 - Risultati LC2 - 2pt Spring Back: Spostamenti.....	32
Tab. 7 - Risultati LC2 - 2pt Spring Back: Deformazioni .....	33
Tab. 8 - Risultati LC3 - 2pt Drift Landing: Spostamenti .....	35
Tab. 9 - Risultati LC3 - 2pt Drift Landing: Deformazioni .....	36
Tab. 10 - Risultati LC4 - 2pt braked roll: Spostamenti .....	38
Tab. 11 - Risultati LC4 - 2pt braked roll: Deformazioni.....	39
Tab. 12 - LC rigidezza: SAT 10 .....	42
Tab. 13 - LC rigidezza: SAT 180 .....	43
Tab. 14 - LC rigidezza: SAT 350 .....	43
Tab. 15 - Risultati LC rigidezza: Spostamenti .....	45
Tab. 16 - Punti d'interfaccia MLG .....	46
Tab. 17 - MAIN FITTING .....	50
Tab. 18 - SLIDING TUBE .....	51
Tab. 19 - LOWER TORQUE LINK.....	52
Tab. 20 - UPPER TORQUE LINK .....	53
Tab. 21 - Pintle pin .....	54
Tab. 22 - Torque links pin .....	54
Tab. 23 - Vincoli SPC .....	62
Tab. 24 - DRAG BRACE.....	63
Tab. 25 - LOWER DB-UPPER DB .....	64
Tab. 26 - Sistemi di riferimento .....	67
Tab. 27 - Materiali .....	68
Tab. 28 - Frequenze dei modi.....	69



Tab. 29 - Condizioni di Rigidezza .....	77
Tab. 30 - Posizione LVDT .....	78
Tab. 31 - Condizioni di Rigidezza – Spostamenti FEM .....	79
Tab. 32 - Condizioni di Rigidezza – Spostamenti TEST .....	79
Tab. 33 - Condizioni di Rigidezza – Errore Percentuale Spostamenti .....	85
Tab. 34 - Condizioni di Resistenza .....	86
Tab. 35 - Condizione LC1 – 2pt Spin Up .....	87
Tab. 36 - Condizione LC2 – 2pt Spring Back .....	87
Tab. 37 - Condizione LC3 – 2pt Drift Landing RH.....	88
Tab. 38 - Condizione LC4 – 2pt Braked Roll.....	88
Tab. 39 - Condizioni di Resistenza – Errore Percentuale Spostamenti .....	91
Tab. 40 - Posizione Estensimetri .....	92
Tab. 41 - Condizioni di Resistenza – Deformazioni FEM .....	92
Tab. 42 - Condizioni di Resistenza – Deformazioni TEST .....	93
Tab. 43 - Condizioni di Resistenza – Errore Percentuale Deformazioni.....	93





Si ringraziano:

- I miei genitori e i miei fratelli.
- Il prof. Giuseppe Sala, in qualità di tutor universitario.
- L'ing. Maurizio Ghioldi, in qualità di tutor aziendale.
- L'ing. Claudio Bossi, per la disponibilità e la pazienza datami.

Rivolgo anche un sincero ringraziamento e i miei più calorosi saluti a tutti quelli che ho conosciuto e al gruppo di lavoro con cui ho avuto il piacere di collaborare per tutto questo periodo.

Alessandro Pagani



## Sommario

I carrelli aeronautici in una configurazione di tipo triciclo anteriore retrattile sono di due tipologie: il carrello anteriore, posto in prossimità del muso anteriore, e il carrello principale, posto in prossimità dell'ala. Generalmente, la struttura di un carrello è composta da un corpo principale sede dell'ammortizzatore, che sostiene la ruota, e da un elemento con funzione di controvento, che permette di tenere il carrello in posizione estesa durante le fasi di decollo, atterraggio e sosta a terra. La struttura è realizzata con parti in lega di alluminio, accanto a componenti d'acciaio ad alta resistenza nei punti di maggiore concentrazione delle sollecitazioni.

Lo scopo del lavoro è quello di correlare i dati numerici del modello ad elementi finiti della struttura del carrello principale dell'M-346 con i dati delle prove sperimentali di rigidezza e di resistenza per consentire la validazione del modello stesso. Sono state perciò condotte una serie di analisi statiche lineari che hanno permesso, alla fine delle attività, di ottenere un modello FEM rappresentativo del carrello principale.

### **Parole chiave:**

Carrello principale; M-346; correlazione teorico/sperimentale



## Abstract

The aeronautical landing gears in a tricycle retractable configuration are of two types: "nose landing gear", located near the front nose, and "main landing gear", located in the vicinity of the wing. Generally, the structure of a landing gear is composed of a main body seat of the shock absorber, which supports the wheel, and by an element with the function of brace, that allows to keep the gear in the extended position during the phases of take-off, landing and parking ground. The structure is realized with parts made of aluminum alloy, next to components of high-strength steel in the points of greatest stress concentration.

The aim of this work is to correlate the numerical data of the finite element model of the structure of the M-346 "Main Landing Gear" with the experimental data of stiffness and strength test to allow the validation of the theoretical model. Were therefore conducted a series of linear static analyses that have allowed, at the end of the activity, to obtain a representative FEM model of the main landing gear.

### **Keywords:**

Main Landing Gear; M346; theoretical/experimental correlation



# 1 INTRODUZIONE

La seguente relazione vuole presentare e commentare l'esperienza di tirocinio formativo svolta dal sottoscritto presso gli uffici di Progettazione e Sviluppo (Airframe M-346) dello stabilimento AleniaAermacchi di Venegono.

Il lavoro svolto riguarda l'analisi statica del carrello principale del velivolo M-346; in particolare, la generazione di un modello ad elementi finiti della struttura del carrello principale, il suo caricamento, in accordo a quanto eseguito durante le prove sperimentali, e il relativo confronto dei risultati delle analisi con i dati forniti dalle prove sperimentali.

Tutto questo al fine di mettere a punto il modello FEM, in modo da ottenere risultati il più possibile vicini a quelli ottenuti in via sperimentale. Il modello FEM "tarato" potrà così essere utilizzato in futuro con buona confidenza sulla qualità dei risultati qualora il velivolo dovesse subire variazioni significative di masse/centraggi.

## 1.1 L'AZIENDA

AleniaAermacchi, società controllata del gruppo Finmeccanica S.p.A, è un leader italiano in campo aeronautico ed è tra i più avanzati complessi mondiali nel suo settore. La società è impegnata, direttamente o tramite partecipazione a consorzi e collaborazioni internazionali con le più importanti industrie mondiali, nella progettazione e realizzazione di una vasta gamma di velivoli e sistemi aeronautici sia civili che militari.

Produce prodotti come l'M-346, aereo progettato per soddisfare le esigenze di addestramento dei piloti di aerei da combattimento di 4° e 5° generazione, e il C-27J, versatile e moderno aereo da trasporto tattico.

L'azienda ha un ruolo chiave nella produzione di velivoli da difesa, da trasporto militare e pattugliamento; si occupa anche delle relative manutenzioni, revisioni, trasformazioni e modifiche di diversi velivoli. La società ha inoltre un ruolo di primo piano nel comparto dell'aviazione commerciale con la costruzione di aerostutture avanzate per velivoli quali l'Airbus A380 e il Boeing B787.



I settori degli aerei militari e degli aerei commerciali hanno sede rispettivamente negli stabilimenti di Torino-Caselle e di Pomigliano D'Arco, con gli aerei d'addestramento e i sistemi basati nello stabilimento di Venegono, che è anche la sede legale. L'attuale azienda è stata costituita il 1° gennaio 2012 dalla fusione per incorporazione delle società Alenia Aeronautica e AleniaAermacchi. Il nome fa risalire la sua discendenza al 1913, quando l'iniziale Nieuport-Macchi è stata fondata; il 1° maggio di quest'anno si è celebrato il suo 100° anniversario.

## **1.2 L'ADDESTRATORE AVANZATO M-346**

L'M-346, dotato di doppio turbogetto, è un innovativo velivolo da addestramento avanzato. Con i suoi comandi di volo e avionica completamente digitali, insieme alla semplicità di pilotaggio e alla manovrabilità ad elevati angoli d'attacco, l'M-346 è pienamente rappresentativo della caccia di nuova generazione. Scaricando una percentuale significativa di ore dal programma d'addestramento è anche estremamente conveniente. Il velivolo, infatti, è stato progettato con gli ultimi concetti di "design-to-cost" e "design-to-maintain", per fornire il migliore equilibrio possibile tra l'alta efficacia dell'addestramento, le capacità operative e un basso costo del ciclo di vita.

L'M-346 sfrutta caratteristiche non convenzionali e sistemi di bordo avanzati, come il suo pacchetto di controllo ETTS (Embedded Tactical Training Simulation), per fornire prestazioni di livello, qualità di volo e sicurezza delle operazioni d'addestramento. Mantenendo sempre le sue avanzate/innovative caratteristiche di addestratore, l'M-346 è facilmente riconfigurabile sul campo per diventare un efficace aereo da combattimento. In questa configurazione operativa il velivolo è in grado di eseguire attacchi a terra o anti-nave e missioni con obiettivi aerei, in particolare nel cosiddetto ruolo di "difesa della patria".



**Figura 1 - M-346**

A pieno carico, l'M-346, mantiene un elevato rapporto spinta/peso (in realtà, non molto lontano da quello offerto da caccia d'assalto multiruolo pienamente armati) e un buon carico alare: entrambi contribuiscono nel complesso ad eccellenti prestazioni generali. Anche con un motore non operativo, l'M-346 è ancora capace di alte velocità e manovrabilità.

Questo si traduce in un notevole fattore di sopravvivenza sul campo di battaglia. La grande capacità del serbatoio interno, integrato da un massimo di tre serbatoi esterni e un tubo di rifornimento rapidamente smontabile, dota l'M-346 di un notevole raggio di combattimento e/o di una durata di pattugliamento ulteriormente rafforzata dai motori senza post-combustione.



Tra le caratteristiche che rendono l' M-346 un efficace velivolo da combattimento vi sono:

- la struttura progettata per trasportare fino a tre tonnellate di varie armi
- le nove sezioni di carico
- una configurazione aerodinamica che permette l'integrazione di una vasta gamma di carichi esterni
- la disponibilità di radar multiruolo
- la progettazione secondo criteri legati alla sopravvivenza
- la grande capacità di carburante per una maggiore durata di combattimento
- la notevole velocità e manovrabilità anche a pieno carico o con un motore non operativo.

### 1.3 SCHEDA TECNICA M-346

#### **Dimensioni:**

Apertura alare	9.72 m (31.9 ft)
Lunghezza	11.49 m (37.7 ft)
Altezza	4.76 m (15.6 ft)
Superficie alare	23.52 sqm (253.2 sqft)

#### **Pesi:**

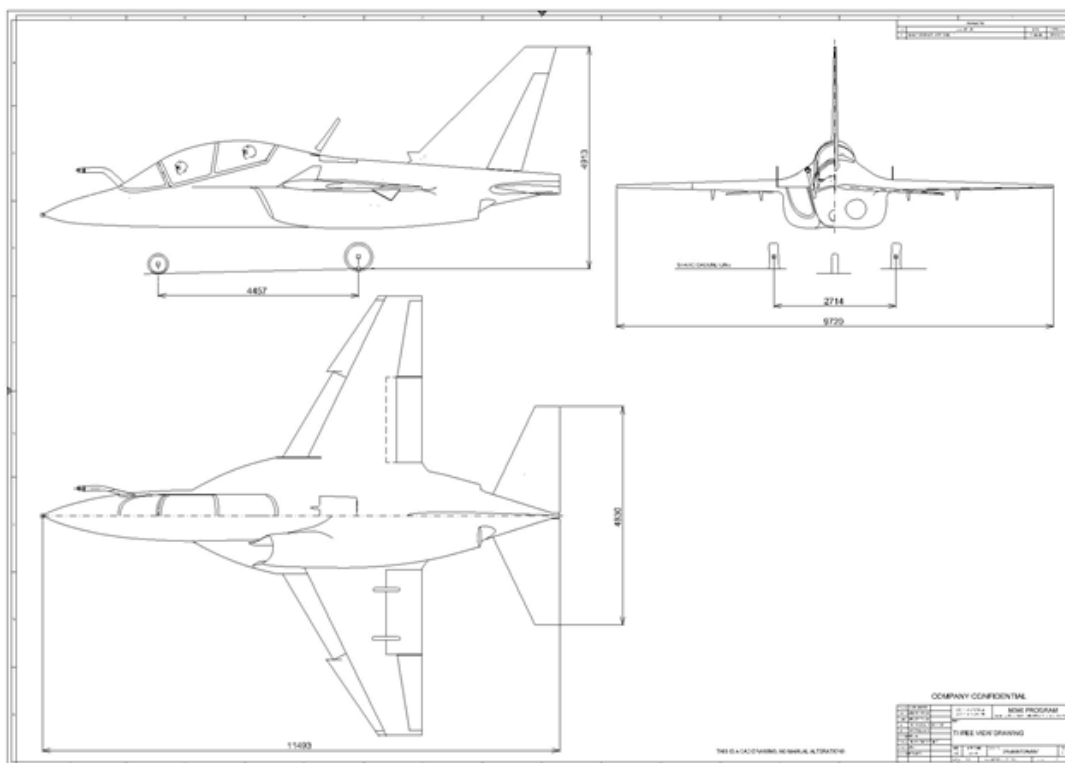
Decollo (clean)	7,400 kg (16,310 lb)
Decollo (max.)	10,200 kg (22,490 lb)
Carico bellico max.	3,000 kg (6,610 lb)

#### **Impianto di potenza:**

Motori	Honeywell F124-GA-200
Spinta (max, sl, ISA)	2 x 2,850 kg (2 x 6,280 lb)
Serbatoi interni (usabile)	2,000 kg (4,410 lb)

**Prestazioni (Clean, ISA):**

Max. velocità volo livellato	590 KTAS
Velocità limite	572 KEAS
Velocità di stallo	95 KCAS
Rateo di salita	22,000 ft/min
Quota di tangenza	45,000 ft
Fattore di carico limite	+ 8 / - 3 g
Fattore di carico sost. (sl) / (15000ft)	8.0 / 5.2 g
Lunghezza decollo	400 m (1,310 ft)
Lunghezza atterraggio	550 m (1,800 ft)
Autonomia (clean) / serbatoi est.	1,980 / 2,720 km (1,070 / 1,470 nm)
Durata (clean) / serbatoi est.	2h 45 min / 4 h

**Figura 2 - Tre Viste M-346**





<b>Abbreviazioni</b>	<b>Significato</b>
AAEM	AleniaAermacchi SpA
A/C	Aircraft
AFT	After direction
DB	Drag Brace
DL	Drag Load
FWD	Forward direction
FEM	Finite Element Model
L/G	Landing Gear
LH	Left Hand
LL	Limit Load
LLI	Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH
LTL	Lower Torque Link
MF	Main Fitting
MLG	Main Landing Gear
NLG	Nose Landing Gear
P/N	Part Number
QTP	Qualification Test Procedure
QTR	Qualification Test Report
RH	Right Hand
RR	Rolling Radius
SA	Shock Absorber
SAT	Shock Absorber Travel
SL	Side Load
ST	Sliding Tube
UTL	Upper Torque Link
VL	Vertical Load
WA	Wheel Axle

**Tab. 1 - Abbreviazioni**



## 2 STRUTTURA DEL CARRELLO PRINCIPALE M-346

La struttura del velivolo M-346 è progettata secondo la concezione di "damage tolerance". Gli elementi strutturali principali sono in lega leggera di alluminio, mentre leghe di titanio e acciaio sono utilizzate in aree specifiche. La maggior parte del rivestimento della fusoliera, porte d'accesso, pannelli, prese d'aria e condotti, sono realizzati con materiali compositi (fibra di carbonio, Kevlar).

### 2.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

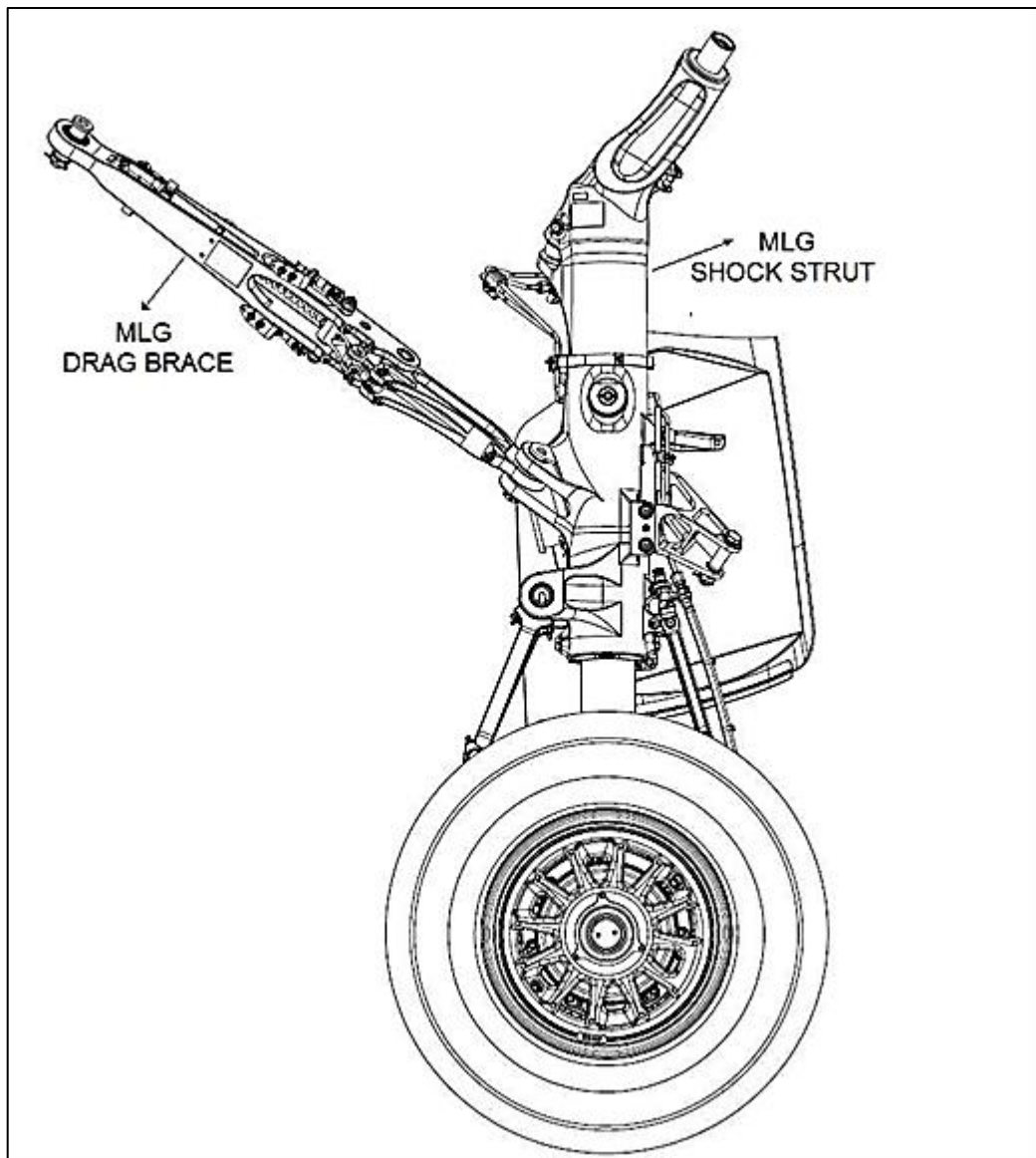
Della struttura M-346 è anche parte il sistema del carrello d'atterraggio, che ha una configurazione di tipo triciclo completamente retrattile. E' costituito dal carrello principale (MLG), composto da due parti speculari montate a sinistra e a destra nella zona della fusoliera in prossimità dell'ala, e dal carrello anteriore (NLG), che si trova nella zona centrale della fusoliera anteriore. Il sistema è equipaggiato con ruote singole e dotato di gambe telescopiche azionate da sistemi idraulici principali e d'emergenza che comandano anche il freno di parcheggio. E' dotato di tecnologia di frenata "Brake-by-wire" anti-skid Dual-Gain, inoltre lo sterzo della ruota del carrello anteriore utilizza i controlli "Steer-by-wire". Il carrello dell'M-346 è stato progettato e realizzato dall'azienda tedesca Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH.

Il carrello principale, di cui tratta questo lavoro, ha una gamba telescopica che incorpora un ammortizzatore oleo-pneumatico a singolo stadio. La retrazione è svolta da un attuatore incernierato alla gamba carrello. La gamba è supportata nella posizione estesa da un controvento che ha un sistema di "downlocking" integrato costituito da una molla e un attuatore idraulico. Per la retrazione del carrello d'atterraggio tale attuatore sblocca il meccanismo di down-lock del controvento e l'attuatore di retrazione muove il carrello nella posizione retratta. Il carrello principale deve assorbire l'energia d'impatto in atterraggio e limitare le reazioni del terreno permettendo così le operazioni di decollo, atterraggio e rullaggio.

La struttura del carrello principale (MLG) è composta dalle seguenti parti:

- MLG Shock Strut Subsystem LH - P/N:2809A0000-03
- MLG Shock Strut Subsystem RH - P/N:2810A0000-03
- MLG Drag Brace including Down Lock, - P/N:2811A0000-03 (LH e RH)

Le seguenti figure mostrano MLG Shock Strut (LH) e MLG Drag Brace (LH) quando sono assemblati in posizione estesa:



**Figura 3 - MLG Shock Strut e MLG Drag Brace**

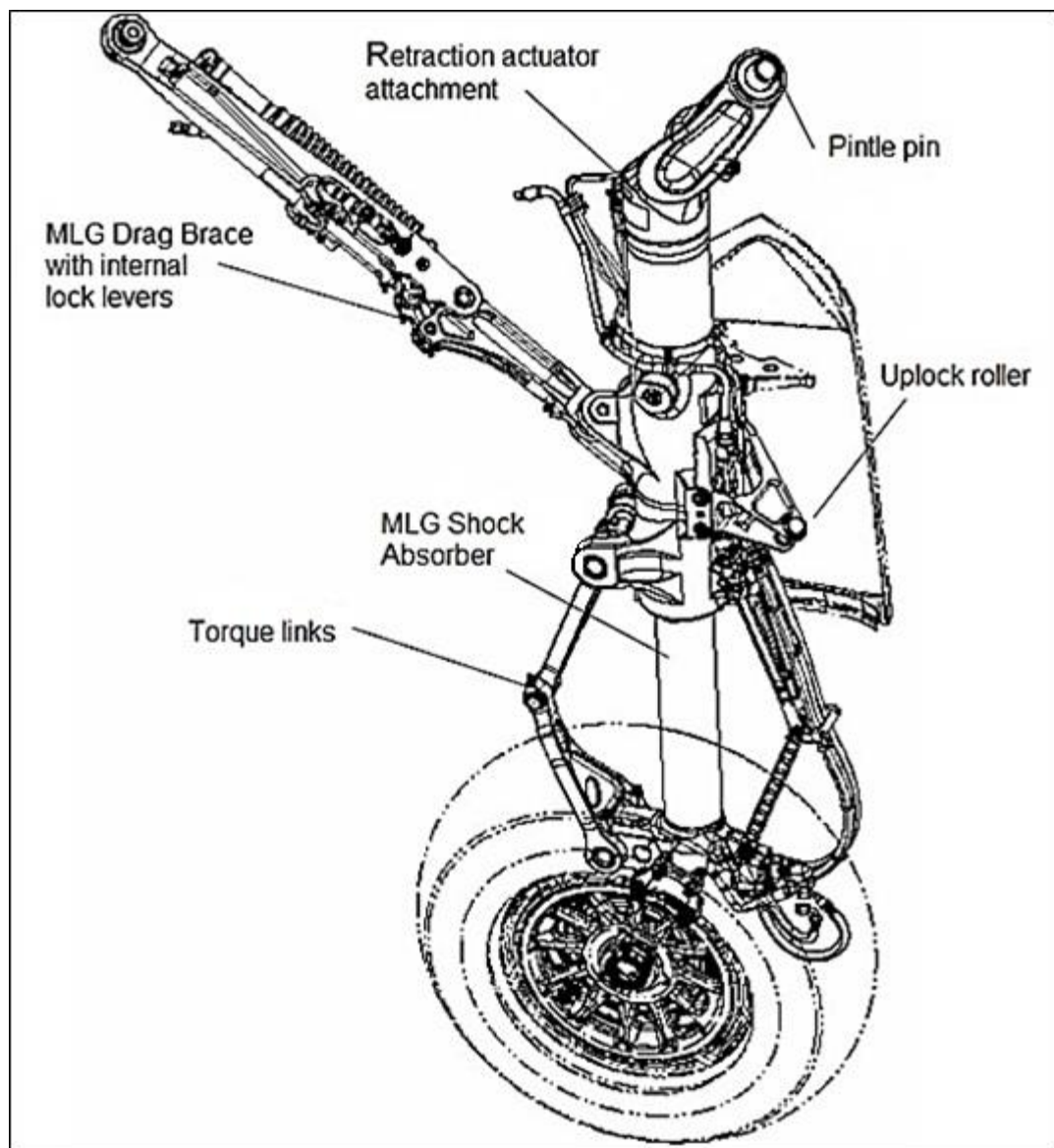


Figura 4 - Componenti MLG

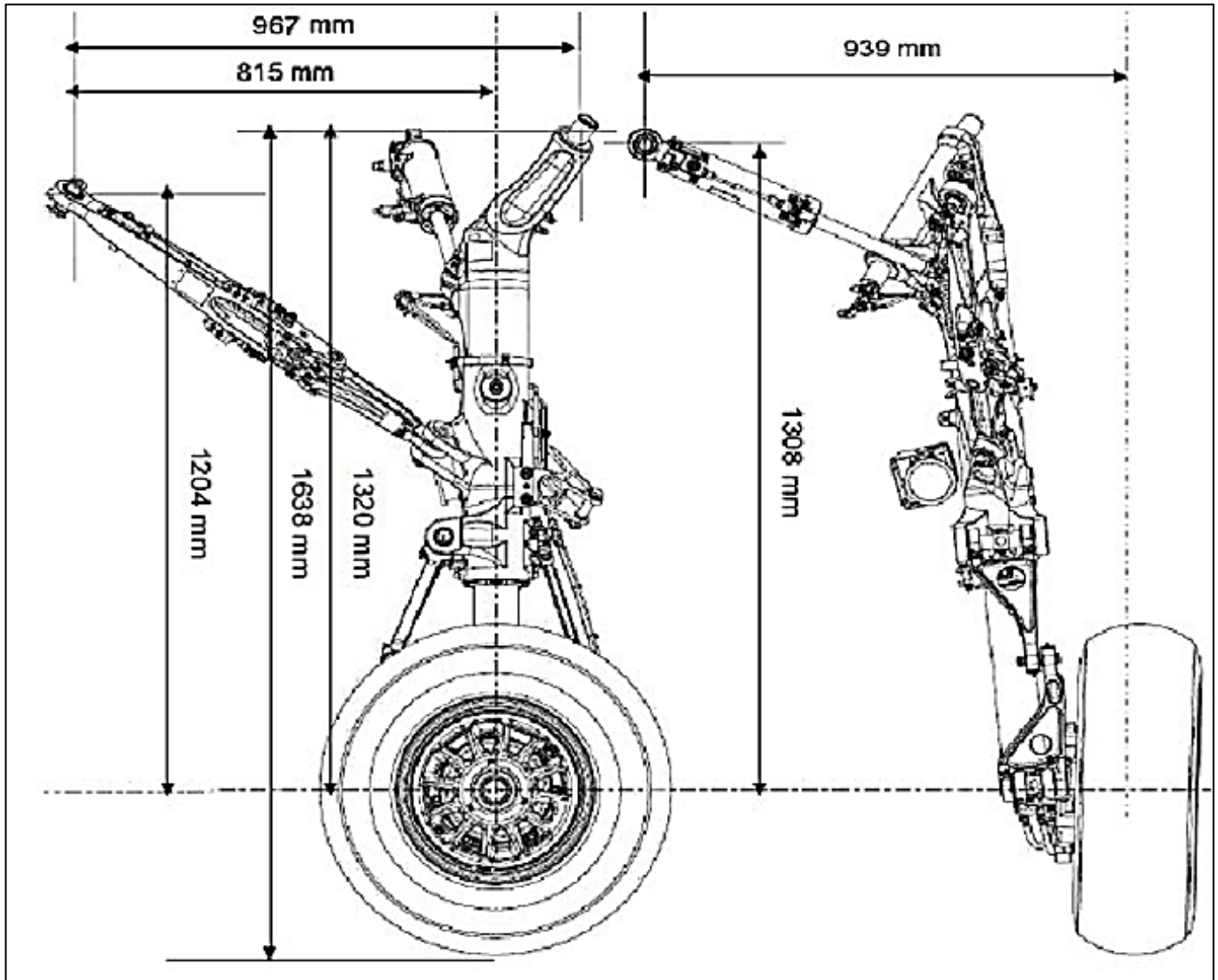


Figura 5 - Dimensioni di riferimento MLG



## 2.2 PROVE SPERIMENTALI DI RESISTENZA

Per la validazione del MLG da parte di AAEM sono state condotte diverse prove che rispondono ai requisiti delle FAR/JAR25.

I dati e la descrizione delle prove di resistenza del MLG, sono presentati nel documento:

- **LLI “2901QR0006 QTR Strength Test”**

mentre le procedure sono spiegate nel documento:

- **LLI “2901QP0004 QTP Strength Test”.**

### 2.2.1 Descrizione delle prove di resistenza

Le prove di resistenza sono state eseguite in accordo alle procedure, sul MLG Subsystem LH P/N 2901A0000-01, di cui fanno parte:

- **MLG Shock Strut LH P/N 2809A0000-01**
- **MLG Drag Brace incl. Down Lock P/N 2811A0000-01**

Le prove sono state realizzate con l’ausilio di una specifica struttura per la messa in posizione del carrello:

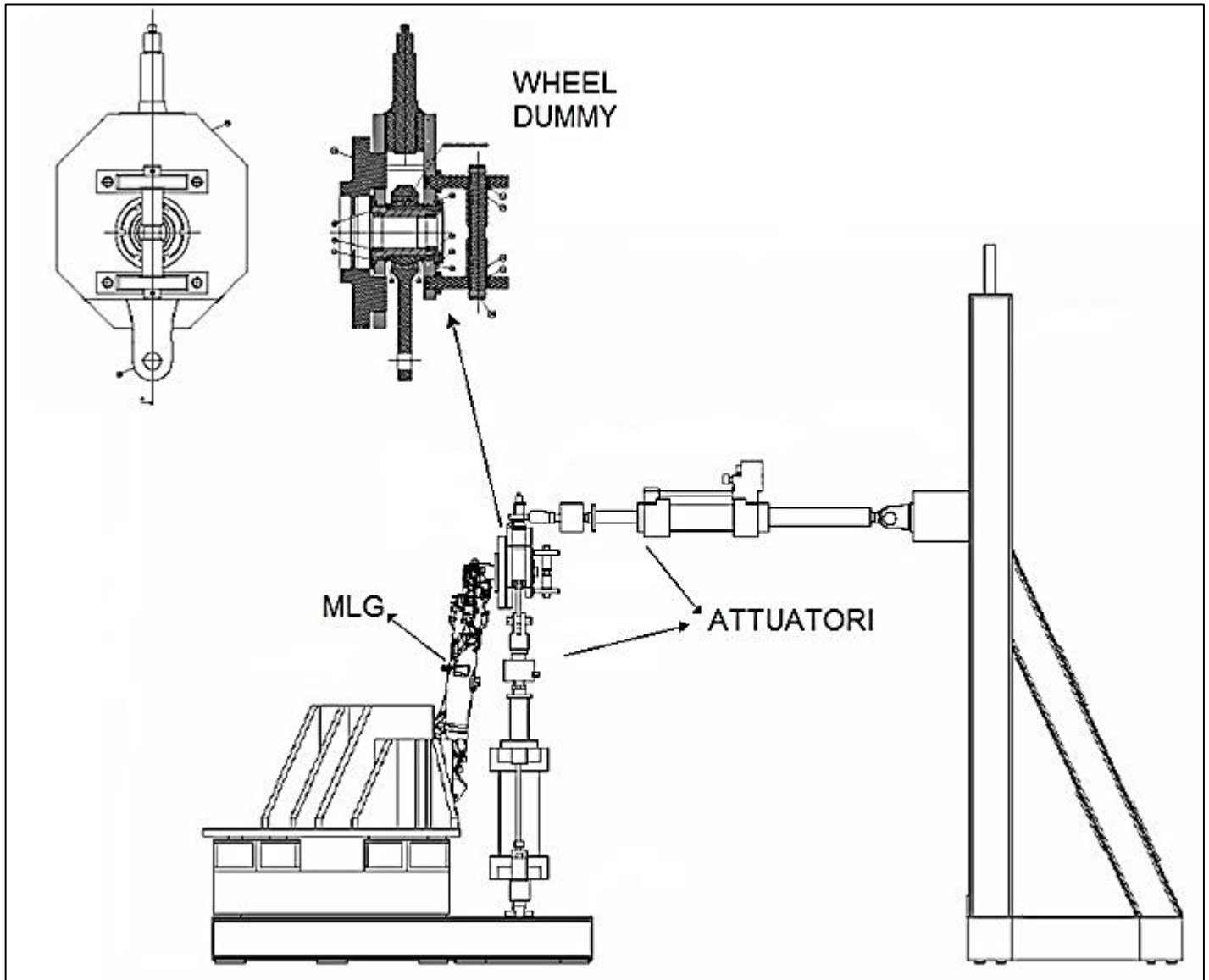


Figura 6 - Schema impianto prove di resistenza

Shock Strut, Drag Brace sono stati installati in posizione estesa e capovolta nell'impianto di prova. Una ruota fittizia (wheel dummy) è stata montata all'assale per simulare la trasmissione dei "ground load", ovvero le forze applicate dal terreno sul pneumatico del carrello. Per ciascuna condizione di prova, sono stati applicati con l'ausilio di attuatori idraulici, i carichi verticali (VL), longitudinali (DL) e laterali (SL). I punti d'ancoraggio





degli attuatori di carico sono stati posizionati prima di ciascuna prova in modo che i vettori di carico agiscano secondo una direzione normale o parallela al terreno al massimo carico di prova. Entrambe le camere d'olio e d'azoto dell'ammortizzatore (SA) sono state riempite con olio idraulico per ottenere una corretta corsa dell'ammortizzatore (SAT). Per ogni test il riempimento dell'ammortizzatore è stato fatto immettendo o rilasciando olio da o verso la camera d'azoto. Il buon funzionamento dell'ammortizzatore dal massimo SAT a SAT 0mm è stato verificato mediante l'applicazione d'olio idraulico alla camera di azoto con  $1,0 \pm 0,5$  MPa.

Per la certificazione della struttura del MLG sono state prese in considerazione le seguenti condizioni di carico: 2pt spin up, 2pt spring back, 2pt drift landing right, 2pt braked roll. La seguente tabella mostra queste condizioni di carico, ciascuna con la rispettiva corsa (SAT) e il relativo raggio di rotolamento (RR). Per le prime due condizioni il carico è stato applicato nel centro ruota mentre per le altre due i carichi sono stati applicati nel punto di contatto con il terreno ad una distanza dal centro ruota pari al raggio di rotolamento.

<b>Limit MLG Ground Loads</b>						
<b>Load Case N°</b>	<b>Load Case</b>	<b>DL [kN]</b>	<b>SL [kN]</b>	<b>VL [kN]</b>	<b>SAT [mm]</b>	<b>RR [mm]</b>
1	2pt spin up	49 <sup>(1)</sup>	-7.8 <sup>(1)</sup>	50.4	72	273 <sup>(3)</sup>
2	2pt spring back	-45.6 <sup>(1)</sup>	-0.6 <sup>(1)</sup>	68.6	135	262 <sup>(3)</sup>
3	2pt drift landing rh	0	-24.3 <sup>(2)</sup>	40.6	298	256
4	2pt braked roll	37.6 <sup>(2)</sup>	0	47.1	300	268

**Tab. 2 - Prove di resistenza: Condizioni di carico limite**

- 1) Carico applicato nel centro ruota
- 2) Carico applicato nel punto di contatto col terreno
- 3) Solo per informazione



Le direzioni dei carichi sono:

- carico verticale (VL) positivo diretto verso l'alto
- carico longitudinale (DL) positivo diretto verso la coda
- carico laterale (SL) positivo diretto verso la semiala destra

Questo schema mostra i carichi applicati al MLG (LH):

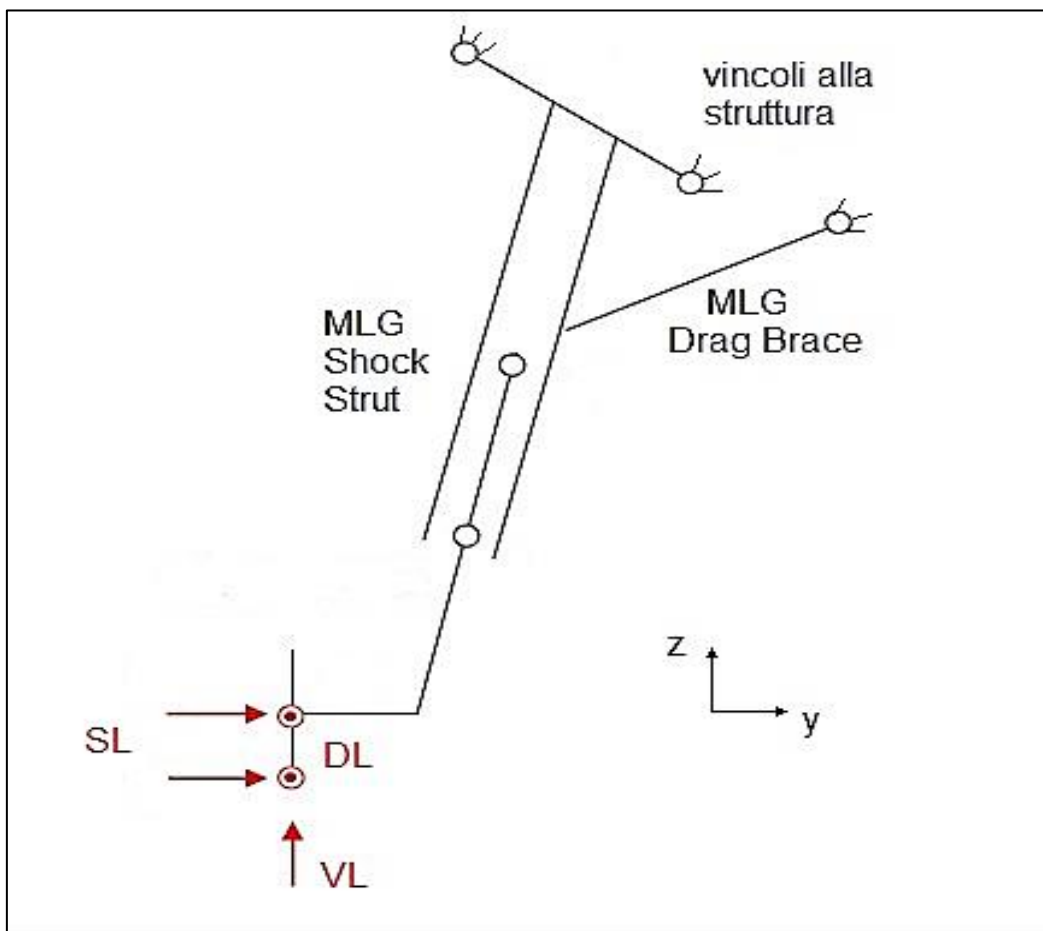


Figura 7 - Schema carichi applicati MLG (LH)

Durante i test sono stati registrati i carichi introdotti, le corse dell'ammortizzatore, le letture degli spostamenti date dai trasduttori e quelle delle deformazioni dagli estensimetri.

I carichi massimi applicati stanno tra il 100 e il 102% dei carichi limite e sono stati applicati per almeno due minuti. Le SAT raggiunte al 100% del carico sono inferiori alle SAT nominali richieste, causano perciò sollecitazioni maggiori del previsto, quindi i risultati delle prove sono conservativi.

## 2.2.2 Risultati delle prove di resistenza

Le immagini seguenti mostrano la locazione dei quindici punti di misura degli spostamenti con la relativa direzione e il posizionamento degli estensimetri presi in considerazione:

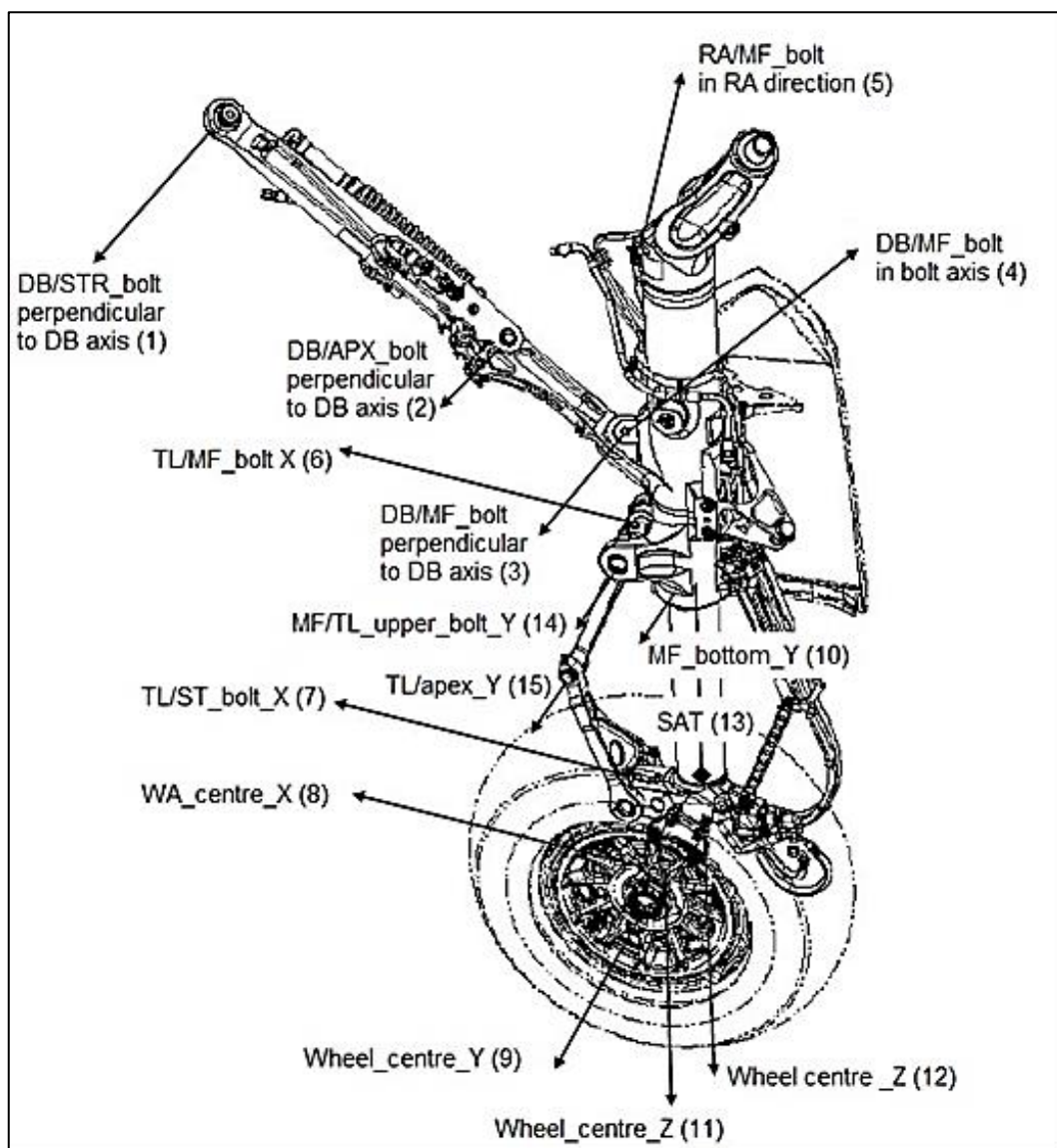


Figura 8 - Prove di resistenza: Spostamenti

No.	Name	Position and description
1	DB/STR_bolt	Position: Connection bolt between Drag Brace and A/C Structure (at mid of bolt assembling). Direction: perpendicular to the Drag Brace axis.
2	DB/APX_bolt	Position: Bolt between upper and lower Drag Brace (at mid of bolt assembling). Direction: perpendicular to the Drag Brace axis.
3	DB/MF_bolt_DB_ax	Position: Connection bolt between Drag Brace and Main Fitting (at assembling). Direction: perpendicular to the Drag Brace axis.
4	DB/MF_bolt_bolt_ax	Position: Connection bolt between Drag Brace and Main Fitting (at bolt centre). Direction: In bolt axis
5	RA/MF_bolt	Position: Connection bolt between Main Fitting and Retraction Actuator (at mid of bolt assembling). Direction: In Retraction Actuator direction, at gear extended condition
6	TL/MF_bolt_X	Position: Connection bolt between Upper Toque Link and Main Fitting (at mid of bolt assembling). Direction: X-Direction (ground system)
7	TL_ST_bolt_X	Position: Connection bolt between Lower Toque Link and Sliding Tube (at mid of bolt assembling). Direction: X-Direction (ground system)
8	WA_centre_X	Position: Wheel centre Direction: X-Direction (ground system) Remark: It is allowed to measure this stroke outside of the axle along the wheel axle centre line. In combination with measuring point 7 the aim of measurement is to detect a rotation of sliding tube.
9	wheel_centre_Y	Position: Wheel axle centre line. Direction: Y-Direction (ground system)
10	MF_bottom_Y	Position: At bottom of Main Fitting. Direction: Y-Direction (ground system)
11	wheel_centre_Z	Position: Wheel centre Direction: Z-Direction (ground system) Remark: It is allowed to measure this stroke outside of the axle along the wheel axle centre line. In combination with measuring point 7 the aim of measurement is to detect a rotation of wheel axle.
12	ST_centre_Z	Position: At bottom of Sliding Tube in Sliding tube centre line. Direction: Z-Direction (ground system)
13	SAT	Position: Shock Absorber Travel measured from the Main Fitting (lower part) to the wheel axle. Direction: Parallel to Shock Absorber centre line.
14	MF/TL_upper_bolt_Y	Position: Connection bolt between Main Fitting and Upper Torque Link bolt Direction: In bolt axis
15	TL_apex_Y	Position: Connection bolt between both Torque Links Direction: In bolt axis

**Tab. 3 - Prove di resistenza: Posizione e direzione degli spostamenti**

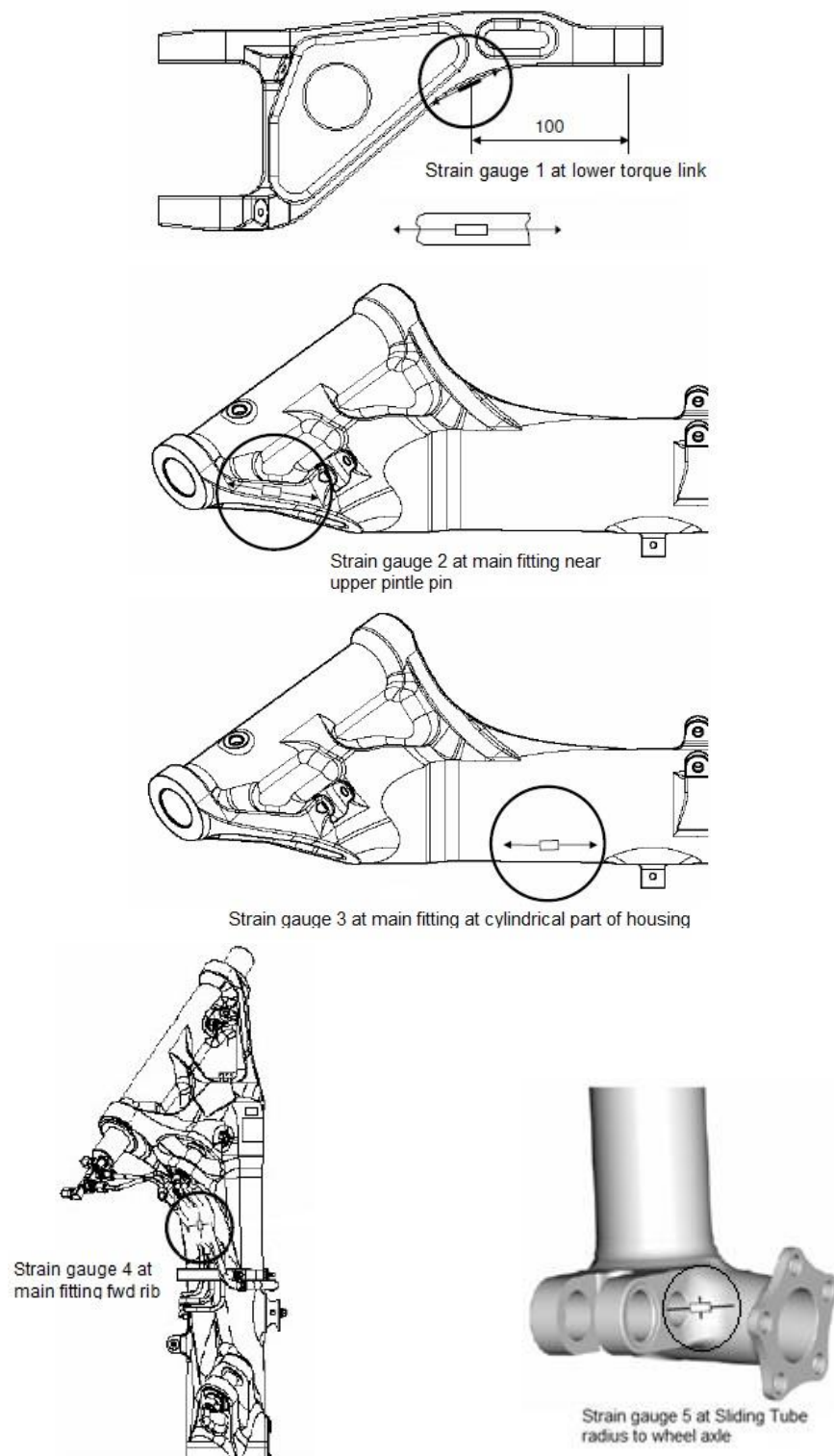


Figura 9 - Prove di resistenza: Posizione Estensimetri



Sono riportati di seguito i risultati delle quattro condizioni di carico limite (100% LL) analizzate: nelle tabelle sono evidenziati in rosso i valori dei quindici spostamenti e delle cinque deformazioni che sono stati presi in considerazione nelle analisi.

### 2.2.2.1 Limit load case LC1 - 2pt spin up

SAT 72mm al 100% del LL richiesto secondo QTP: durante il test è stato raggiunto un SAT 70.35mm al 101% LL.

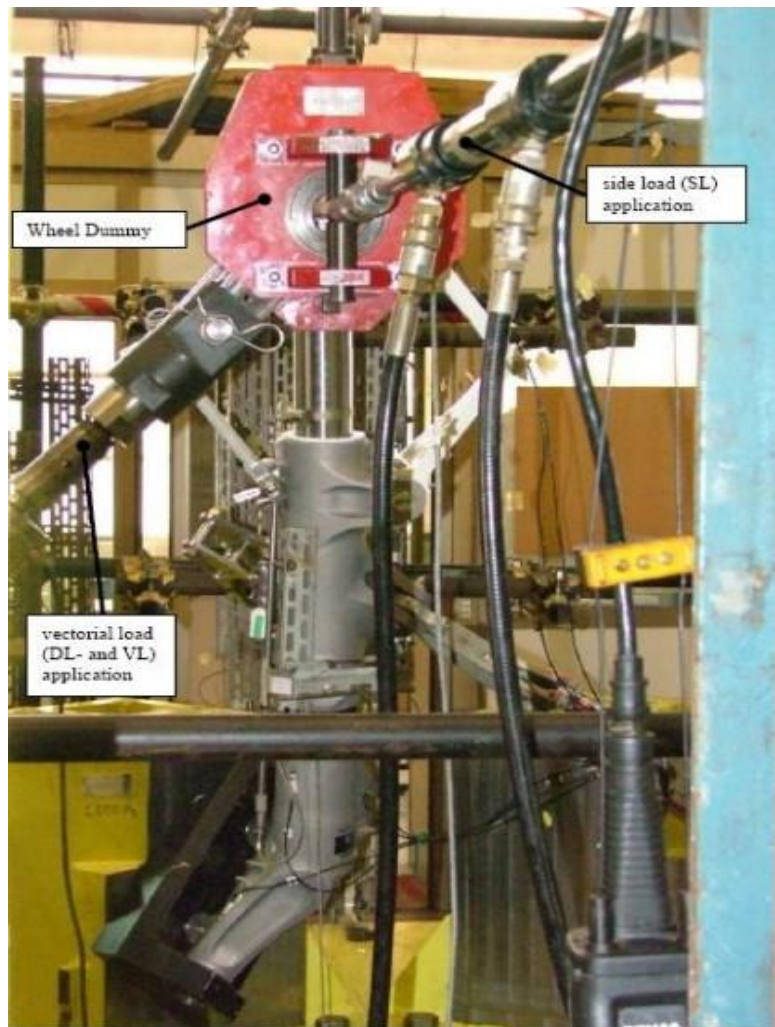


Figura 10 - Setup LC1 - 2pt Spin Up



**2pt-spin up: SAT(nominal) = 72 / SAT (initial) = 358.5mm - 295mm = 63.5mm / SAT (at 101% LL) = 358.5mm - 295mm + 6.85mm = 70.35mm**

step	load	Time	vect. load	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15
%	kN	s	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	15:05:23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
2	10	15:08:04	-6,90	-0,79	0,24	0,50	-0,45	0,00	0,91	3,40	5,61	-2,64	-1,24	2,34	0,77	0,54	-1,18	-2,58
3	20	15:08:41	-14,01	-1,58	0,65	1,21	-0,97	0,00	1,60	6,43	10,68	-5,92	-2,87	5,67	2,10	1,33	-2,64	-5,42
4	10	15:09:20	-6,90	-0,79	0,27	0,63	-0,54	-0,01	0,98	3,72	6,31	-2,80	-1,44	3,16	1,35	1,01	-1,36	-2,87
5	0	15:10:08	0,05	0,00	-0,05	-0,02	0,02	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,18	0,08	-0,10	-0,08	-0,07	0,10	0,10
6	0	15:10:16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0	15:10:21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	10	15:10:59	-6,90	-0,79	0,29	0,53	-0,46	0,00	0,92	3,42	5,64	-2,82	-1,32	2,41	0,84	0,61	-1,25	-2,68
9	20	15:11:37	-14,03	-1,58	0,69	1,20	-0,97	0,00	1,61	6,42	10,65	-6,10	-2,93	5,64	2,14	1,40	-2,70	-5,50
10	30	15:12:16	-21,17	-2,36	1,07	1,88	-1,49	0,00	2,29	9,43	15,69	-9,37	-4,55	9,00	3,50	2,18	-4,14	-8,31
11	40	15:12:56	-28,28	-3,16	1,43	2,53	-1,98	-0,01	2,96	12,44	20,66	-12,63	-6,13	12,40	4,89	2,92	-5,56	-11,08
12	50	15:13:34	-35,37	-3,94	1,81	3,20	-2,48	0,01	3,63	15,45	25,62	-15,87	-7,71	15,86	6,30	3,62	-6,98	-13,85
13	60	15:14:14	-42,55	-4,72	2,20	3,89	-3,02	-0,01	4,32	18,56	30,66	-19,23	-9,35	19,48	7,78	4,30	-8,45	-16,71
14	70	15:14:52	-49,71	-5,48	2,61	4,59	-3,56	-0,01	5,01	21,71	35,74	-22,60	-11,01	23,14	9,32	4,97	-9,93	-19,60
15	80	15:15:31	-56,77	-6,32	3,01	5,29	-4,12	-0,02	5,71	24,90	40,87	-25,99	-12,68	26,91	10,92	5,62	-11,43	-22,54
16	90	15:16:10	-63,93	-7,10	3,39	5,99	-4,67	-0,03	6,43	28,14	46,01	-29,39	-14,34	30,72	12,57	6,26	-12,93	-25,51
17	100	15:16:48	-71,02	-7,83	3,79	6,69	-5,24	-0,03	7,16	31,44	51,17	-32,80	-16,01	34,57	14,26	6,84	-14,43	-28,46
18	100	15:17:09	-71,02	-7,83	3,79	6,71	-5,26	-0,03	7,17	31,47	51,24	-32,89	-16,06	34,64	14,28	6,85	-14,46	-28,51
19	100	15:17:29	-71,02	-7,83	3,79	6,71	-5,27	-0,03	7,18	31,49	51,26	-32,87	-16,06	34,66	14,29	6,85	-14,47	-28,52
20	100	15:17:49	-71,02	-7,83	3,79	6,72	-5,27	-0,03	7,18	31,49	51,27	-32,90	-16,07	34,67	14,30	6,85	-14,48	-28,53
21	100	15:18:09	-71,02	-7,83	3,79	6,72	-5,27	-0,03	7,18	31,50	51,28	-32,89	-16,07	34,68	14,30	6,85	-14,48	-28,53
22	100	15:18:29	-71,02	-7,83	3,79	6,73	-5,28	-0,04	7,19	31,51	51,29	-32,90	-16,08	34,69	14,31	6,85	-14,49	-28,54
23	100	15:18:48	-71,02	-7,83	3,79	6,73	-5,29	-0,04	7,19	31,52	51,29	-32,93	-16,08	34,70	14,31	6,85	-14,49	-28,55
24	80	15:19:28	-56,77	6,32	3,15	5,72	-4,49	-0,04	5,94	26,12	44,36	-27,05	-13,54	29,19	12,19	6,32	-12,23	-24,26
25	60	15:20:07	-42,55	4,71	2,35	4,43	-3,52	-0,04	4,63	20,06	34,42	-20,56	-10,48	22,82	9,93	5,86	-9,48	-18,53
26	40	15:20:44	-28,28	3,15	1,47	3,03	-2,46	-0,03	3,28	13,79	23,56	-13,90	-7,18	15,50	6,95	4,52	-6,50	-12,52
27	20	15:21:21	-14,01	1,58	0,63	1,55	-1,34	-0,03	1,89	7,39	12,68	-6,94	-3,64	7,89	3,47	2,42	-3,36	-6,47
28	10	15:21:58	-6,90	0,79	0,24	0,78	-0,75	-0,03	1,17	4,15	7,03	-3,37	-1,80	3,83	1,77	1,32	-1,71	-3,33
29	20	15:22:37	-14,03	-1,58	0,11	0,59	1,30	-1,13	-0,02	1,79	6,83	11,36	-6,46	-3,18	6,21	2,48	1,64	-2,95
30	10	15:23:14	-6,90	-0,78	-0,08	0,25	0,76	-0,73	-0,02	1,16	4,13	7,07	-3,32	-1,77	3,78	1,75	1,31	-1,69
31	0	15:25:24	0,07	-0,01	-0,02	0,03	0,05	-0,12	-0,01	0,10	0,20	0,28	-0,32	-0,16	0,21	0,11	0,08	-0,13

Tab. 4 - Risultati LC1 - 2pt Spin Up: Spostamenti

**2pt-spin up: SAT(nominal) = 72 / SAT (at 0%) = 358.5mm - 295mm = 63.5mm / SAT (at 101% LL) = 358.5mm - 295mm + 6.85mm = 70.35mm**

step	load step %	Time s	vect. load kN	side load kN	Position 1 $\mu\text{m/m}$	Position 2 $\mu\text{m/m}$	Position 3 $\mu\text{m/m}$	Position 4 $\mu\text{m/m}$	Position 5 $\mu\text{m/m}$	Position 6 $\mu\text{m/m}$	Position 7 $\mu\text{m/m}$	Position 8 $\mu\text{m/m}$	Position 9 $\mu\text{m/m}$
1	0	15:05:23	0,00	0,00	1	0	0	-4	1	0	-1	-1	1
2	10	15:08:04	-6,90	-0,79	-311	-266	-315	315	55	1	98	111	59
3	20	15:08:41	-14,01	-1,58	-653	-551	-668	668	101	2	212	221	127
4	10	15:09:20	-6,90	-0,79	-366	-330	-329	329	48	0	107	93	64
5	0	15:10:08	0,05	0,00	5	6	18	-23	-2	-1	-1	-1	3
6	0	15:10:16	0,05	0,00	0	-1	-2	1	-1	0	-1	-1	4
7	0	15:10:21	0,05	0,00	0	-1	-2	1	-1	-2	0	-1	3
8	10	15:10:59	-6,90	-0,79	-317	-274	-317	334	54	0	98	111	57
9	20	15:11:37	-14,03	-1,58	-654	-557	-680	680	102	3	213	220	124
10	30	15:12:16	-21,17	-2,36	-993	-841	-1217	1030	146	5	328	331	196
11	40	15:12:56	-28,28	-3,16	-1327	-1121	-1625	1385	194	6	443	441	275
12	50	15:13:34	-35,37	-3,94	-1656	-1395	-2029	1731	246	8	558	549	357
13	60	15:14:14	-42,55	-4,72	-1988	-1665	-2437	2083	297	9	676	661	440
14	70	15:14:52	-49,71	-5,48	-2322	-1934	-2842	2440	347	10	791	773	525
15	80	15:15:31	-56,77	-6,32	-2656	-2201	-3245	2790	395	11	905	887	607
16	90	15:16:10	-63,93	-7,10	-2991	-2475	-3647	3151	441	12	1021	1005	694
17	100	15:16:48	-71,02	-7,83	-3297	-2751	-4044	3497	485	14	1133	1124	773
18	100	15:17:09	-71,02	-7,83	-3296	-2756	-4046	3509	486	14	1136	1119	776
19	100	15:17:29	-71,02	-7,83	-3296	-2760	-4044	3506	486	14	1136	1121	778
20	100	15:17:49	-71,02	-7,83	-3295	-2759	-4046	3510	486	14	1137	1117	778
21	100	15:18:09	-71,02	-7,83	-3295	-2761	-4045	3506	486	14	1136	1119	778
22	100	15:18:29	-71,02	-7,83	-3295	-2762	-4044	3502	486	14	1137	1119	776
23	100	15:18:48	-71,02	-7,83	-3294	-2762	-4047	3504	487	14	1136	1116	775
24	80	15:19:28	-56,77	6,32	-3004	-2560	-3286	2865	429	11	909	818	597
25	60	15:20:07	-42,55	4,71	-2292	-2048	-2476	2166	334	7	689	576	432
26	40	15:20:44	-28,28	3,15	-1502	-1401	-1651	1441	220	3	466	370	292
27	20	15:21:21	-14,01	-1,58	-752	-713	-817	713	109	0	214	197	154
28	10	15:21:58	-6,90	-0,79	-366	-367	-400	349	53	0	106	94	77
29	20	15:22:37	-14,03	-1,58	-642	-582	-802	684	104	0	213	222	142
30	10	15:23:14	-6,90	-0,78	-376	-367	-398	349	54	-1	107	93	79
31	0	15:25:24	0,07	-0,01	-7	-7	-9	21	5	-1	-4	-4	-2

Tab. 5 - Risultati LC1 - 2pt Spin Up: Deformazioni



### 2.2.2.2 Limit load case LC2 - 2pt spring back

SAT 135mm al 100% del LL richiesto secondo QTP: durante il test è stato raggiunto un SAT 132.98 mm al 101% LL.

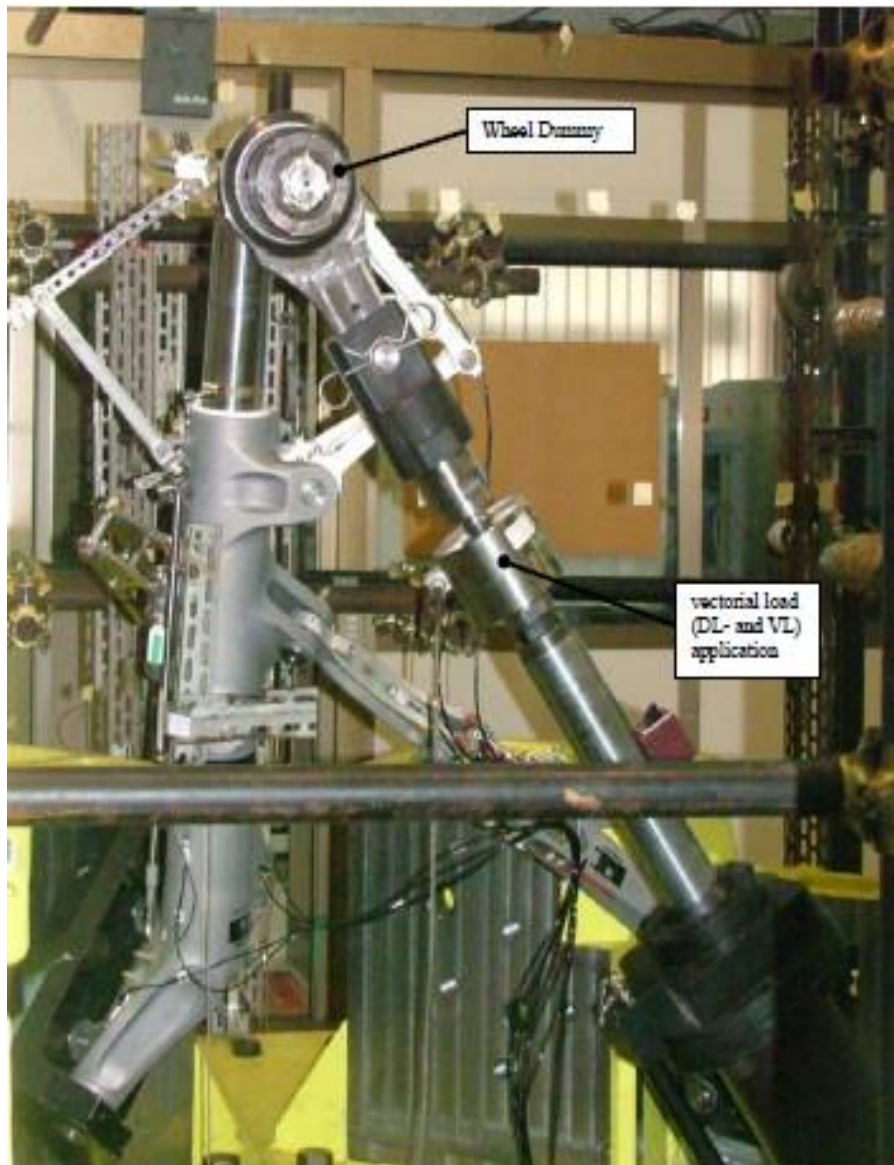


Figura 11 - Setup LC2 - 2pt Spring Back



**2pt-spring back: SAT(nominal) = 135mm / SAT (initial) = 358.5mm-231.5mm=127mm / SAT (at 101% LL) = 358.5mm-231.5mm+5.98mm= 132,98mm**

step	load step %	time s	vect. load kN	Point 1 mm	Point 2 mm	Point 3 mm	Point 4 mm	Point 5 mm	Point 6 mm	Point 7 mm	Point 8 mm	Point 9 mm	Point 10 mm	Point 11 mm	Point 12 mm	Point 13 mm	Point 14 mm	Point 15 mm	
1	0	9:21:54	-0,014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	10	9:25:59	-8,391	0,03	0,38	0,60	-0,33	0,00	-0,36	-1,46	-3,97	-3,86	-1,86	3,73	1,22	0,50	-1,28	-0,55	-0,55
3	20	9:26:44	-16,696	0,09	0,77	1,18	-0,66	0,03	-0,75	-2,86	-7,71	-7,52	-3,69	7,67	2,70	1,20	-2,50	-1,06	-1,06
4	10	9:27:22	-8,367	0,06	0,60	0,71	-0,38	0,02	-0,41	-1,63	-4,56	-4,21	-2,12	4,76	1,97	1,10	-1,43	-0,49	-0,49
5	0	9:28:13	0,081	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,01	-0,07	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0	9:28:23	0,081	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0	9:28:28	0,081	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8	10	9:29:08	-8,391	0,03	0,38	0,59	-0,33	0,01	-0,37	-1,49	-4,02	-3,92	-1,89	3,81	1,27	0,56	-1,29	-0,55	-0,55
9	20	9:29:50	-16,696	0,08	0,76	1,16	-0,66	0,02	-0,75	-2,88	-7,75	-7,56	-3,70	7,73	2,74	1,26	-2,50	-1,05	-1,05
10	30	9:30:31	-25,001	0,14	1,18	1,73	-0,98	0,03	-1,14	-4,26	-11,40	-11,18	-5,50	11,70	4,24	1,95	-3,72	-1,56	-1,56
11	40	9:31:13	-33,425	0,22	1,65	2,29	-1,31	0,09	-1,53	-5,65	-15,02	-14,83	-7,30	15,79	5,79	2,64	-4,94	-2,06	-2,06
12	50	9:31:53	-41,705	0,27	2,10	2,84	-1,64	0,10	-1,91	-6,99	-18,55	-18,47	-9,10	19,90	7,35	3,29	-6,15	-2,56	-2,56
13	60	9:32:32	-50,057	0,34	2,61	3,46	-2,01	0,14	-2,29	-8,35	-22,16	-22,32	-11,04	24,12	8,97	3,92	-7,48	-3,17	-3,17
14	70	9:33:13	-58,409	0,42	3,18	4,14	-2,43	0,16	-2,69	-9,73	-25,87	-26,44	-13,15	28,54	10,72	4,55	-8,94	-3,87	-3,87
15	80	9:33:57	-66,809	0,50	3,78	4,84	-2,85	0,20	-3,10	-11,12	-29,51	-30,59	-15,30	33,00	12,45	5,11	-10,43	-4,62	-4,62
16	90	9:34:37	-75,112	0,58	4,37	5,50	-3,25	0,21	-3,50	-12,50	-33,08	-34,70	-17,41	37,33	14,12	5,58	-11,89	-5,36	-5,36
17	100	9:35:16	-83,416	0,67	5,01	6,19	-3,67	0,22	-3,92	-13,90	-36,68	-38,93	-19,57	41,75	15,80	5,97	-13,39	-6,14	-6,14
18	100	9:35:36	-83,416	0,67	5,05	6,22	-3,68	0,22	-3,93	-13,92	-36,74	-39,01	-19,62	41,82	15,82	5,97	-13,43	-6,16	-6,16
19	100	9:35:56	-83,416	0,68	5,06	6,23	-3,69	0,23	-3,94	-13,93	-36,75	-39,04	-19,64	41,85	15,84	5,97	-13,44	-6,17	-6,17
20	100	9:36:16	-83,416	0,68	5,07	6,23	-3,69	0,24	-3,94	-13,93	-36,77	-39,06	-19,64	41,86	15,84	5,97	-13,45	-6,18	-6,18
21	100	9:36:36	-83,416	0,68	5,07	6,24	-3,69	0,24	-3,94	-13,94	-36,78	-39,08	-19,65	41,88	15,85	5,98	-13,46	-6,19	-6,19
22	100	9:36:56	-83,416	0,68	5,08	6,24	-3,69	0,24	-3,94	-13,94	-36,79	-39,09	-19,66	41,89	15,85	5,98	-13,47	-6,19	-6,19
23	100	9:37:16	-83,416	0,68	5,08	6,25	-3,69	0,24	-3,94	-13,95	-36,79	-39,10	-19,67	41,90	15,85	5,98	-13,47	-6,19	-6,19
24	80	9:37:56	-66,785	0,64	4,88	5,44	-3,21	0,23	-3,32	-11,63	-32,55	-33,38	-16,99	36,40	14,17	5,98	-11,58	-4,75	-4,75
25	60	9:38:36	-50,034	0,56	4,13	4,40	-2,58	0,21	-2,60	-9,05	-25,84	-26,20	-13,55	29,45	12,04	5,84	-9,24	-3,75	-3,75
26	40	9:39:14	-33,401	0,42	3,05	3,24	-1,89	0,14	-1,82	-6,39	-17,97	-18,31	-9,67	20,93	8,96	4,79	-6,65	-2,91	-2,91
27	20	9:39:52	-16,648	0,27	1,82	1,94	-1,13	0,03	-1,03	-3,49	-9,82	-10,23	-5,51	11,07	4,79	2,62	-3,84	-1,89	-1,89
28	10	9:40:32	-8,343	0,18	1,18	1,25	-0,74	-0,01	-0,61	-1,95	-5,49	-6,05	-3,34	6,08	2,66	1,44	-2,37	-1,32	-1,32
29	20	9:41:12	-16,648	0,19	1,34	1,68	-0,98	-0,01	-0,94	-3,22	-8,60	-9,28	-4,86	8,93	3,36	1,52	-3,42	-1,89	-1,89
30	10	9:41:51	-8,343	0,17	1,13	1,22	-0,73	-0,01	-0,60	-1,96	-5,53	-6,02	-3,32	6,06	2,64	1,43	-2,35	-1,28	-1,28
31	0	9:45:15	0,224	0,06	0,29	0,39	-0,26	-0,05	-0,12	-0,14	-0,46	-1,30	-0,86	0,66	0,31	0,10	-0,66	-0,62	-0,62

Tab. 6 - Risultati LC2 - 2pt Spring Back: Spostamenti

**2pt-spring back: SAT(nominal) = 135mm / SAT (initial) = 358.5mm-231,5mm= 127mm / SAT (at 101% LL) = 358.5mm-231,5mm+5,98mm= 132,98mm**

step	load step %	time s	vect. load kN	Position 1 $\mu\text{m/m}$	Position 2 $\mu\text{m/m}$	Position 3 $\mu\text{m/m}$	Position 4 $\mu\text{m/m}$	Position 5 $\mu\text{m/m}$	Position 6 $\mu\text{m/m}$	Position 7 $\mu\text{m/m}$	Position 8 $\mu\text{m/m}$	Position 9 $\mu\text{m/m}$
1	0	9:21:54	-0,01	0	0	0	-1	0	0	1	1	-1
2	10	9:25:59	-8,39	290	-121	-203	214	-43	-2	-225	-254	-128
3	20	9:26:44	-16,70	586	-260	-405	426	-85	-4	-470	-505	-277
4	10	9:27:22	-8,37	334	-170	-212	225	-44	-2	-289	-222	-156
5	0	9:28:13	0,08	-5	1	4	-7	1	0	5	5	0
6	0	9:28:23	0,08	0	-2	0	2	-1	-1	-1	0	2
7	0	9:28:28	0,08	1	0	0	2	0	0	-1	-1	2
8	10	9:29:08	-8,39	296	-123	-208	219	-44	-3	-233	-261	-131
9	20	9:29:50	-16,70	592	-261	-410	434	-87	-4	-477	-511	-277
10	30	9:30:31	-25,00	881	-402	-613	647	-126	-6	-726	-759	-442
11	40	9:31:13	-33,43	1171	-543	-818	861	-165	-8	-982	-1004	-615
12	50	9:31:53	-41,71	1454	-685	-1023	1076	-208	-10	-1236	-1247	-797
13	60	9:32:32	-50,06	1735	-818	-1227	1288	-253	-11	-1487	-1490	-981
14	70	9:33:13	-58,41	2018	-958	-1437	1509	-299	-13	-1744	-1728	-1166
15	80	9:33:57	-66,81	2288	-1100	-1651	1729	-344	-14	-2007	-1964	-1376
16	90	9:34:37	-75,11	2545	-1242	-1866	1949	-390	-15	-2271	-2194	-1598
17	100	9:35:16	-83,42	2800	-1388	-2087	2172	-434	-16	-2542	-2422	-1832
18	100	9:35:36	-83,42	2900	-1391	-2099	2169	-435	-17	-2551	-2415	-1840
19	100	9:35:56	-83,42	2799	-1390	-2090	2169	-435	-17	-2554	-2412	-1842
20	100	9:36:16	-83,42	2799	-1390	-2090	2173	-435	-17	-2555	-2409	-1840
21	100	9:36:36	-83,42	2799	-1389	-2089	2174	-435	-16	-2556	-2408	-1841
22	100	9:36:56	-83,42	2799	-1389	-2090	2171	-435	-17	-2558	-2407	-1844
23	100	9:37:16	-83,42	2798	-1389	-2089	2170	-436	-17	-2559	-2407	-1846
24	80	9:37:56	-66,79	2599	-1416	-1737	1795	-378	-15	-2330	-1800	-1619
25	60	9:38:36	-50,03	1999	-1129	-1322	1376	-292	-12	-1792	-1354	-1211
26	40	9:39:14	-33,40	1310	-762	-872	919	-197	-7	-1185	-912	-744
27	20	9:39:52	-16,65	651	-380	-431	459	-96	-4	-585	-451	-350
28	10	9:40:32	-8,34	326	-187	-214	230	-48	-1	-290	-219	-176
29	20	9:41:12	-16,65	560	-271	-403	429	-86	-3	-467	-500	-297
30	10	9:41:51	-8,34	335	-188	-213	230	-48	-1	-291	-219	-176
31	0	9:45:15	0,22	3	-3	-1	0	-2	-1	7	2	1

Tab. 7 - Risultati LC2 - 2pt Spring Back: Deformazioni

### 2.2.2.3 Limit load case LC3 - 2pt drift landing

SAT 298mm al 100% del LL richiesto secondo QTP: durante il test è stato raggiunto un SAT 294.9mm al 100% LL

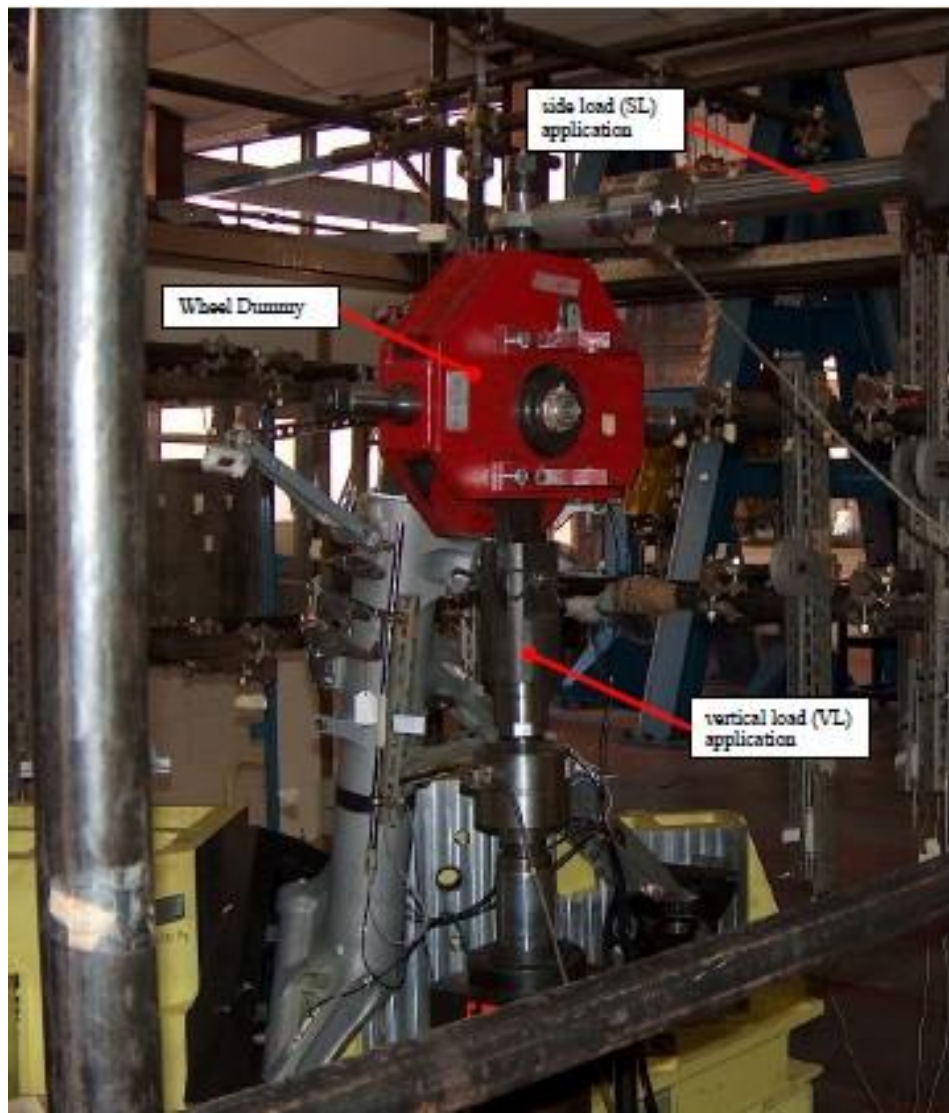


Figura 12 - Setup LC3 - 2pt Drift Landing

**2pt drift landing: SAT(nominal) = 298mm / SAT (initial) = 358,5mm-68,5mm=290mm / SAT (at 100% LL)= 358,5mm-68,5mm+4,90mm = 294,9mm**

step	loadstep %	time s	vert. load kN	side load kN	Point1 mm	Point2 mm	Point3 mm	Point4 mm	Point5 mm	Point6 mm	Point7 mm	Point8 mm	Point9 mm	Point10 mm	Point11 mm	Point12 mm	Point13 mm	Point14 mm	Point15 mm	
1	0	13:53:02	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	10	13:55:20	-4,25	-2,52	0,05	0,67	1,09	-0,67	0,00	0,05	0,12	-0,48	-3,82	-2,73	2,88	0,98	0,53	-2,17	-2,00	-2,00
3	20	13:56:00	-8,36	-4,95	0,11	1,23	2,00	-1,25	-0,01	0,13	0,28	-0,77	-6,92	-5,03	5,56	1,97	1,07	-3,99	-3,65	-3,65
4	10	13:56:40	-4,23	-2,52	0,06	0,80	1,20	-0,75	-0,02	0,06	0,15	-0,54	-4,13	-3,00	3,50	1,38	0,84	-2,38	-2,16	-2,16
5	0	13:57:31	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0	13:57:34	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	10	13:58:16	-4,25	-2,52	0,04	0,56	0,93	-0,56	0,00	0,05	0,12	-0,37	-3,33	-2,38	2,43	0,82	0,44	-1,89	-1,76	-1,76
8	20	13:58:59	-8,36	-4,96	0,10	1,10	1,83	-1,14	0,00	0,12	0,28	-0,66	-6,43	-4,67	5,10	1,80	0,98	-3,70	-3,40	-3,40
9	30	13:59:43	-12,46	-7,37	0,16	1,65	2,72	-1,71	0,00	0,18	0,44	-0,90	-9,48	-6,95	7,89	2,82	1,51	-5,50	-5,04	-5,04
10	40	14:00:31	-16,57	-9,87	0,23	2,20	3,62	-2,31	0,01	0,26	0,61	-1,14	-12,60	-9,29	10,93	3,90	2,05	-7,35	-6,67	-6,67
11	50	14:01:14	-20,72	-12,27	0,30	2,76	4,53	-2,90	0,01	0,34	0,79	-1,36	-15,69	-11,61	14,14	4,99	2,58	-9,19	-8,30	-8,30
12	60	14:01:57	-24,78	-14,75	0,36	3,34	5,45	-3,52	0,01	0,43	0,98	-1,60	-18,83	-13,98	17,51	6,10	3,09	-11,07	-9,96	-9,96
13	70	14:02:39	-28,93	-17,18	0,43	3,94	6,40	-4,15	0,01	0,52	1,18	-1,85	-22,02	-16,40	21,09	7,26	3,59	-12,99	-11,65	-11,65
14	80	14:03:21	-33,00	-19,66	0,49	4,56	7,35	-4,80	0,00	0,63	1,39	-2,09	-25,23	-18,83	24,84	8,44	4,06	-14,92	-13,35	-13,35
15	90	14:04:01	-37,21	-22,11	0,55	5,14	8,26	-5,42	0,00	0,73	1,59	-2,33	-28,36	-21,20	28,56	9,58	4,49	-16,81	-15,00	-15,00
16	100	14:04:39	-41,29	-24,56	0,61	5,71	9,14	-6,02	0,00	0,83	1,78	-2,54	-31,37	-23,47	32,23	10,69	4,89	-18,62	-16,60	-16,60
17	100	14:05:00	-41,29	-24,56	0,62	5,73	9,16	-6,04	-0,01	0,83	1,78	-2,55	-31,41	-23,50	32,27	10,71	4,90	-18,65	-16,62	-16,62
18	100	14:05:21	-41,29	-24,56	0,62	5,74	9,17	-6,04	-0,01	0,83	1,78	-2,55	-31,43	-23,52	32,29	10,72	4,90	-18,66	-16,63	-16,63
19	100	14:05:40	-41,29	-24,56	0,62	5,74	9,17	-6,05	-0,01	0,83	1,78	-2,55	-31,43	-23,52	32,29	10,72	4,90	-18,67	-16,63	-16,63
20	100	14:06:00	-41,29	-24,56	0,62	5,74	9,18	-6,05	-0,01	0,83	1,78	-2,55	-31,44	-23,53	32,30	10,72	4,90	-18,67	-16,64	-16,64
21	100	14:06:21	-41,29	-24,56	0,62	5,74	9,18	-6,05	-0,01	0,83	1,78	-2,56	-31,45	-23,53	32,30	10,72	4,90	-18,68	-16,64	-16,64
22	100	14:06:41	-41,29	-24,56	0,62	5,75	9,18	-6,05	-0,01	0,83	1,78	-2,56	-31,45	-23,54	32,31	10,72	4,90	-18,68	-16,64	-16,64
23	80	14:07:20	-33,03	-19,61	0,54	5,10	7,91	-5,24	0,00	0,71	1,57	-2,55	-27,07	-20,34	27,47	9,48	4,61	-16,07	-14,02	-14,02
24	60	14:08:01	-24,73	-14,75	0,43	4,14	6,28	-4,15	0,00	0,52	1,19	-2,24	-21,38	-16,13	21,21	7,81	4,14	-12,72	-10,97	-10,97
25	40	14:08:41	-16,52	-9,88	0,30	3,02	4,44	-2,94	0,00	0,32	0,77	-1,86	-15,02	-11,34	14,14	5,46	3,05	-8,95	-7,69	-7,69
26	20	14:09:26	-8,36	-4,94	0,17	1,75	2,46	-1,64	-0,01	0,13	0,36	-1,28	-8,26	-6,19	7,13	2,86	1,64	-4,91	-4,19	-4,19
27	10	14:10:06	-4,25	-2,52	0,09	1,03	1,41	-0,95	-0,03	0,05	0,17	-0,86	-4,65	-3,46	3,78	1,54	0,88	-2,76	-2,30	-2,30
28	20	14:10:46	-8,41	-4,94	0,13	1,45	2,17	-1,40	-0,02	0,11	0,29	-1,07	-7,42	-5,46	5,88	2,11	1,12	-4,35	-3,82	-3,82
29	10	14:11:25	-4,25	-2,52	0,09	1,03	1,39	-0,93	-0,02	0,05	0,17	-0,84	-4,62	-3,44	3,77	1,53	0,88	-2,74	-2,30	-2,30
30	0	14:14:33	0,02	-0,02	0,00	-0,06	-0,07	-0,02	0,01	0,00	0,01	-0,01	0,21	0,15	-0,12	-0,03	-0,02	0,12	0,16	0,16

Tab. 8 - Risultati LC3 - 2pt Drift Landing: Spostamenti



**2pt drift landing: SAT(nominal) = 298mm / SAT (initial) = 358,5mm-68,5mm=290mm / SAT (at 100% LL) = 358,5mm-68,5mm+4,90mm = 294,9mm**

step	load step %	time s	vert. load kN	side load kN	Position 1 $\mu\text{m/m}$	Position 2 $\mu\text{m/m}$	Position 3 $\mu\text{m/m}$	Position 4 $\mu\text{m/m}$	Position 5 $\mu\text{m/m}$	Position 6 $\mu\text{m/m}$	Position 7 $\mu\text{m/m}$	Position 8 $\mu\text{m/m}$	Position 9 $\mu\text{m/m}$
1	0	13:53:02	-0,01	-0,02	-1	7	17	-19	-6	0	3	6	0
2	10	13:55:20	-4,25	-2,52	1	-256	-393	393	-5	0	-100	-108	-67
3	20	13:56:00	-8,36	-4,95	2	-505	-769	780	-1	1	-192	-210	-128
4	10	13:56:40	-4,23	-2,52	2	-331	-415	409	-4	0	-134	-100	-67
5	0	13:57:31	-0,01	-0,02	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	1
6	0	13:57:34	-0,01	-0,02	-1	0	0	-5	0	-1	-2	-1	-1
7	10	13:58:16	-4,25	-2,52	-1	-233	-378	385	2	0	-90	-106	-58
8	20	13:58:59	-8,36	-4,96	0	-486	-755	777	5	0	-183	-207	-117
9	30	13:59:43	-12,46	-7,37	-1	-729	-1125	1158	8	0	-274	-306	-173
10	40	14:00:31	-16,57	-9,87	-5	-974	-1496	1536	12	1	-368	-406	-239
11	50	14:01:14	-20,72	-12,27	-13	-1216	-1864	1914	14	2	-458	-503	-300
12	60	14:01:57	-24,78	-14,75	-22	-1452	-2229	2298	15	1	-547	-599	-355
13	70	14:02:39	-28,93	-17,18	-31	-1690	-2592	2671	17	1	-637	-695	-412
14	80	14:03:21	-33,03	-19,66	-38	-1928	-2957	3055	19	2	-726	-789	-470
15	90	14:04:01	-37,21	-22,11	-44	-2162	-3312	3425	20	3	-814	-894	-532
16	100	14:04:39	-41,29	-24,56	-51	-2386	-3655	3777	22	3	-899	-976	-594
17	100	14:05:00	-41,29	-24,56	-51	-2389	-3655	3781	21	2	-902	-973	-592
18	100	14:05:21	-41,29	-24,56	-52	-2389	-3655	3784	21	2	-903	-972	-592
19	100	14:05:40	-41,29	-24,56	-51	-2389	-3655	3784	21	2	-904	-971	-593
20	100	14:06:00	-41,29	-24,56	-51	-2389	-3654	3780	22	3	-904	-971	-594
21	100	14:06:21	-41,29	-24,56	-52	-2390	-3655	3778	20	2	-905	-971	-594
22	100	14:06:41	-41,29	-24,56	-51	-2390	-3654	3779	20	2	-905	-971	-595
23	80	14:07:20	-33,03	-19,61	-29	-2329	-3063	3136	10	2	-905	-975	-555
24	60	14:08:01	-24,73	-14,75	-14	-1898	-2357	2384	0	2	-738	-574	-420
25	40	14:08:41	-16,52	-9,89	3	-1302	-1594	1590	-9	1	-501	-399	-301
26	20	14:09:26	-8,36	-4,94	3	-661	-796	799	-2	-1	-255	-194	-139
27	10	14:10:06	-4,25	-2,52	2	-333	-397	402	1	-1	-129	-97	-62
28	20	14:10:46	-8,41	-4,94	2	-503	-752	776	4	-1	-182	-208	-112
29	10	14:11:25	-4,25	-2,52	2	-337	-398	400	0	-1	-130	-98	-64
30	0	14:14:33	0,02	-0,02	-2	27	48	-51	0	-2	12	9	5

Tab. 9 - Risultati LC3 - 2pt Drift Landing: Deformazioni

### 2.2.2.4 Limit load case LC4 - 2pt braked roll

SAT 300mm al 100% del LL richiesto secondo QTP: durante il test è stato raggiunto un SAT 298.15mm al 101% LL

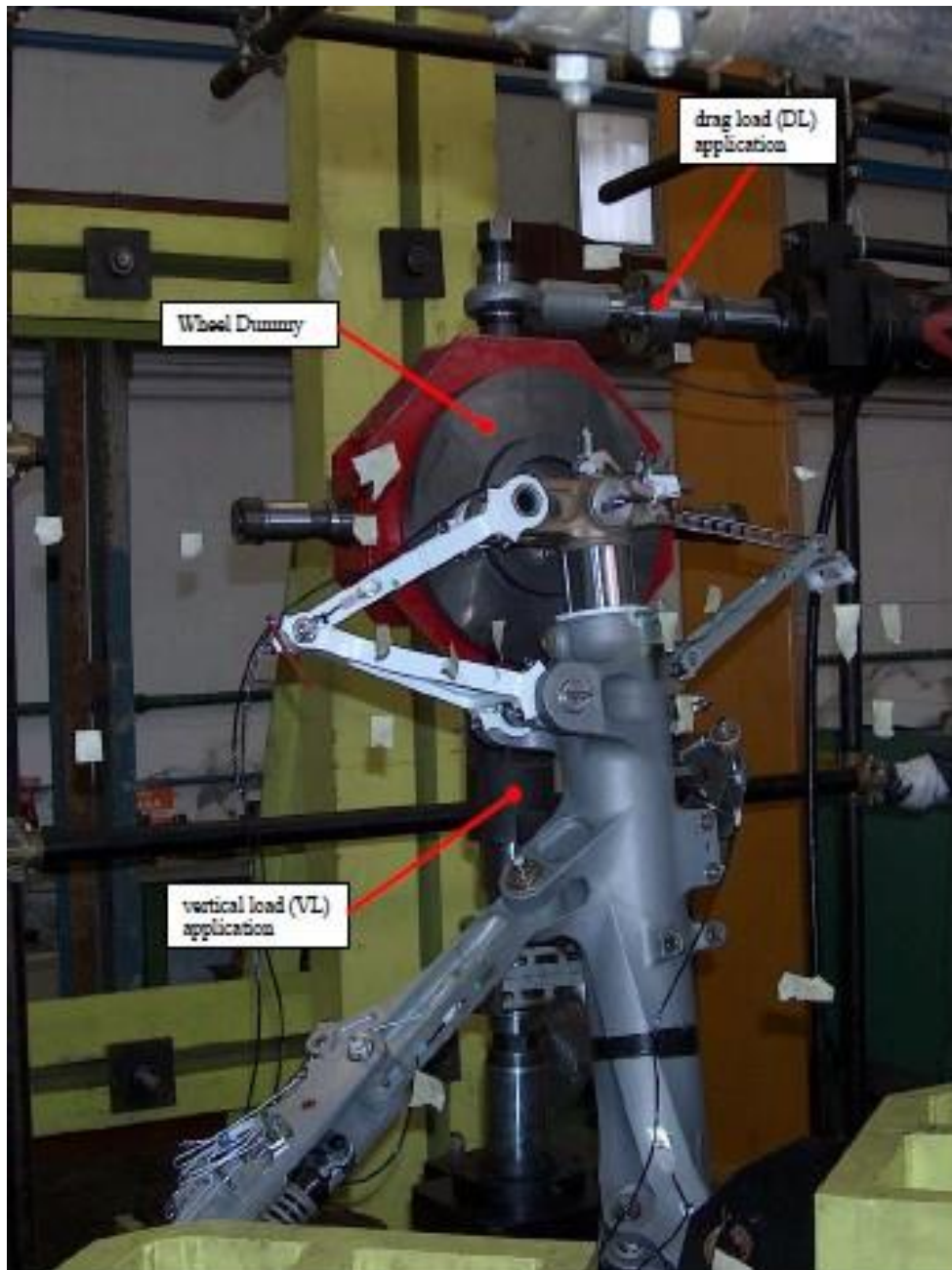


Figura 13 - Setup LC4 - 2pt Braked Roll

**2pt Braked Roll: SAT(nominal) = 300mm / SAT (initial) = 358,5mm-67,5mm=291mm / SAT (at 101% LL)=358,5mm-67,5mm+7,15mm =298,15mm**

step	load step %	time s	vert. load kN	drag load kN	Point 1 mm	Point 2 mm	Point 3 mm	Point 4 mm	Point 5 mm	Point 6 mm	Point 7 mm	Point 8 mm	Point 9 mm	Point 10 mm	Point 11 mm	Point 12 mm	Point 13 mm	Point 14 mm	Point 15 mm	
1	0	14.30.34	2.10	-1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10	14.33.34	-484.70	-383.30	-0.05	0.01	0.29	-0.40	0.02	0.73	1.65	2.82	-1.23	-0.86	1.80	0.59	0.71	-0.81	-1.54	-1.54
3	20	14.34.16	-969.20	-761.10	-0.07	0.28	0.72	-0.71	-0.02	1.24	2.86	4.90	-2.42	-1.78	3.59	1.33	1.48	-1.66	-2.89	-2.89
4	10	14.34.57	-482.30	-383.30	-0.05	0.07	0.41	-0.42	-0.02	0.75	1.75	3.00	-1.35	-1.01	2.35	0.97	1.08	-0.95	-1.68	-1.68
5	0	14.36.04	2.10	-1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0	14.36.11	2.10	-1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	10	14.36.55	-487.10	-383.30	-0.04	0.04	0.30	-0.32	-0.01	0.71	1.62	3.10	-1.07	-0.77	1.54	0.53	0.69	-0.75	-1.66	-1.66
8	20	14.37.36	-971.60	-761.10	-0.06	0.24	0.65	-0.66	-0.01	1.24	2.86	5.20	-2.21	-1.64	3.30	1.25	1.46	-1.56	-2.97	-2.97
9	30	14.38.20	-1436.90	-1138.80	-0.10	0.45	1.02	-0.98	-0.01	1.75	4.03	7.22	-3.39	-2.53	5.14	2.03	2.24	-2.38	-4.28	-4.28
10	40	14.39.01	-1923.80	-1521.50	-0.13	0.66	1.40	-1.31	0.00	2.24	5.17	9.18	-4.60	-3.43	7.06	2.82	3.01	-3.21	-5.60	-5.60
11	50	14.39.43	-2386.70	-1896.80	-0.15	0.85	1.76	-1.62	0.01	2.72	6.30	11.12	-5.78	-4.32	8.90	3.60	3.75	-4.02	-6.99	-6.99
12	60	14.40.25	-2873.60	-2272.10	-0.18	1.06	2.14	-1.96	0.01	3.21	7.42	13.05	-6.99	-5.22	10.81	4.40	4.50	-4.86	-8.21	-8.21
13	70	14.41.08	-3358.00	-2652.20	-0.21	1.28	2.52	-2.28	0.02	3.69	8.55	15.00	-8.20	-6.12	12.70	5.20	5.23	-5.69	-9.54	-9.54
14	80	14.41.40	-3823.30	-3034.90	-0.23	1.40	2.89	-2.62	0.04	4.18	9.67	16.92	-9.40	-7.02	14.55	5.96	5.91	-6.52	-10.86	-10.86
15	90	14.42.32	-4307.80	-3410.10	-0.25	1.71	3.27	-2.95	0.05	4.67	10.78	18.84	-10.62	-7.93	16.40	6.72	6.54	-7.35	-12.20	-12.20
16	100	14.43.13	-4773.10	-3797.70	-0.27	1.91	3.63	-3.28	0.07	5.15	11.89	20.77	-11.79	-8.80	18.18	7.44	7.14	-8.15	-13.51	-13.51
17	100	14.43.28	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.91	3.64	-3.29	0.07	5.15	11.89	20.78	-11.80	-8.81	18.19	7.45	7.14	-8.17	-13.53	-13.53
18	100	14.43.47	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.92	3.65	-3.29	0.07	5.15	11.90	20.78	-11.82	-8.82	18.20	7.46	7.15	-8.18	-13.53	-13.53
19	100	14.44.09	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.92	3.65	-3.29	0.07	5.16	11.90	20.79	-11.82	-8.82	18.20	7.46	7.15	-8.18	-13.53	-13.53
20	100	14.44.27	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.92	3.65	-3.30	0.07	5.16	11.91	20.79	-11.82	-8.82	18.21	7.46	7.15	-8.18	-13.54	-13.54
21	100	14.44.48	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.92	3.65	-3.30	0.07	5.16	11.91	20.79	-11.82	-8.83	18.21	7.46	7.15	-8.18	-13.54	-13.54
22	100	14.45.08	-4773.10	-3797.70	-0.28	1.92	3.66	-3.30	0.07	5.16	11.91	20.80	-11.82	-8.83	18.21	7.46	7.15	-8.18	-13.54	-13.54
23	80	14.45.47	-3823.30	-3032.40	-0.25	1.55	3.15	-2.84	0.06	4.33	10.05	17.73	-9.94	-7.53	15.95	6.84	6.64	-6.96	-11.45	-11.45
24	60	14.46.27	-2868.80	-2272.10	-0.21	1.09	2.45	-2.24	0.06	3.41	7.87	13.72	-7.76	-5.93	12.97	5.78	5.72	-5.46	-8.79	-8.79
25	40	14.47.06	-1921.40	-1519.00	-0.16	0.62	1.68	-1.58	0.04	2.43	5.59	9.76	-5.38	-4.12	9.90	3.93	3.95	-3.80	-6.15	-6.15
26	20	14.47.48	-969.20	-761.10	-0.10	0.22	0.86	-0.86	0.00	1.40	3.17	5.64	-2.73	-2.11	4.61	2.04	2.12	-1.98	-3.37	-3.37
27	10	14.48.28	-484.70	-383.30	-0.06	0.03	0.42	-0.47	-0.01	0.84	1.86	3.44	-1.32	-1.03	2.37	1.05	1.14	-0.98	-1.90	-1.90
28	20	14.49.12	-971.60	-763.50	-0.08	0.25	0.72	-0.73	-0.01	1.31	2.97	5.34	-2.43	-1.81	3.70	1.41	1.58	-1.70	-3.12	-3.12
29	10	14.49.51	-487.10	-383.30	-0.06	0.04	0.42	-0.47	-0.01	0.83	1.86	3.43	-1.31	-1.01	2.36	1.05	1.15	-0.97	-1.89	-1.89
30	0	14.53.00	2.10	-1.80	0.00	-0.01	0.00	-0.02	0.01	-0.02	-0.16	-0.33	0.05	0.02	-0.04	0.01	-0.03	0.03	0.17	0.17

Tab. 10 - Risultati LC4 - 2pt braked roll: Spostamenti



**2pt Braked Roll: SAT(nominal) = 300mm / SAT (initial) =358,5mm-67,5mm=291mm / SAT (at 101% LL)=358,5mm-67,5mm+7,15mm =298,15mm**

step	load step %	time s	vert. load kN	drag load kN	Position 1 μm/m	Position 2 μm/m	Position 3 μm/m	Position 4 μm/m	Position 5 μm/m	Position 6 μm/m	Position 7 μm/m	Position 8 μm/m	Position 9 μm/m
1	0	14.30.34	2,10	-1,80	-1	-1	-1	-2	-1	-1	0	-1	2
2	10	14.33.34	-494,70	-383,30	-150	-227	-269	214	26	1	69	75	46
3	20	14.34.16	-969,20	-761,10	-315	-436	-519	424	56	2	158	165	100
4	10	14.34.57	-492,30	-383,30	-160	-278	-277	219	29	1	76	63	51
5	0	14.36.04	2,10	-1,80	0	0	0	-8	0	0	-1	-2	0
6	0	14.36.11	2,10	-1,80	0	0	-1	-9	0	0	-2	-2	-1
7	10	14.36.55	-497,10	-383,30	-154	-215	-259	204	26	1	80	87	52
8	20	14.37.36	-971,60	-761,10	-321	-422	-509	405	56	1	167	175	103
9	30	14.38.20	-1436,90	-1138,80	-489	-627	-759	616	82	3	254	266	159
10	40	14.39.01	-1923,80	-1521,50	-659	-832	-1011	821	101	4	338	355	215
11	50	14.39.43	-2396,70	-1896,80	-824	-1032	-1258	1020	119	5	424	444	273
12	60	14.40.25	-2873,60	-2272,10	-994	-1232	-1510	1226	143	6	511	531	336
13	70	14.41.08	-3358,00	-2652,20	-1164	-1437	-1761	1432	170	7	599	620	402
14	80	14.41.49	-3823,30	-3034,90	-1328	-1630	-2005	1639	198	9	689	713	471
15	90	14.42.32	-4307,80	-3410,10	-1493	-1824	-2253	1838	226	9	775	801	535
16	100	14.43.13	-4773,10	-3797,70	-1656	-2009	-2495	2035	253	10	863	897	601
17	100	14.43.28	-4773,10	-3797,70	-1656	-2012	-2496	2043	252	10	866	897	604
18	100	14.43.47	-4773,10	-3797,70	-1656	-2013	-2496	2041	253	10	866	895	602
19	100	14.44.09	-4773,10	-3797,70	-1657	-2015	-2497	2040	253	9	865	894	602
20	100	14.44.27	-4773,10	-3797,70	-1657	-2015	-2498	2036	252	10	865	893	601
21	100	14.44.48	-4773,10	-3797,70	-1657	-2015	-2497	2038	252	9	866	893	602
22	100	14.45.08	-4773,10	-3797,70	-1657	-2014	-2497	2036	253	10	866	894	601
23	80	14.45.47	-3823,30	-3032,40	-1430	-1852	-2057	1677	207	7	709	657	472
24	60	14.46.27	-2868,80	-2272,10	-1000	-1517	-1576	1275	150	5	546	451	337
25	40	14.47.06	-1921,40	-1519,00	-679	-1045	-1067	859	98	3	370	288	233
26	20	14.47.48	-969,20	-761,10	-329	-539	-538	426	49	1	171	152	122
27	10	14.48.28	-494,70	-383,30	-162	-275	-269	208	23	0	84	75	60
28	20	14.49.12	-971,60	-763,50	-319	-434	-518	415	50	1	163	175	108
29	10	14.49.51	-497,10	-383,30	-161	-276	-269	211	23	0	86	75	63
30	0	14.53.00	2,10	-1,80	16	12	15	-15	-5	-1	-5	-4	0

Tab. 11 - Risultati LC4 - 2pt braked roll: Deformazioni



## 2.3 PROVE SPERIMENTALI DI RIGIDEZZA

La rigidità del carrello d'atterraggio è determinata attraverso le prove di rigidezza. I dati e la descrizione delle prove di rigidezza del MLG sono presentati nel documento di LLI "B\_TA\_4143\_01\_MLG\_Drop\_tests\_report". Dopo una prima campagna di prove il MLG Shock Strut è stato modificato per rispettare alcuni requisiti. Le prove di rigidezza sono state fatte perciò sul MLG LH P/N 2901A0000-02, di cui fanno parte:

- MLG Shock Strut LH P/N 2809A0000-02
- MLG Drag Brace incl. Down Lock P/N 2811A0000-01

### 2.3.1 Descrizione delle prove di rigidezza

Per le prove di rigidezza il carrello è stato assemblato nell'impianto di prova in configurazione d'atterraggio e senza ruota. Una struttura mobile "dummy" che simula la ruota, è applicata all'assale per il "touch down" del carrello. Il rispettivo carico è stato applicato mediante un dispositivo meccanico.

Le diverse configurazioni di carico sono mostrate nelle figure seguenti:

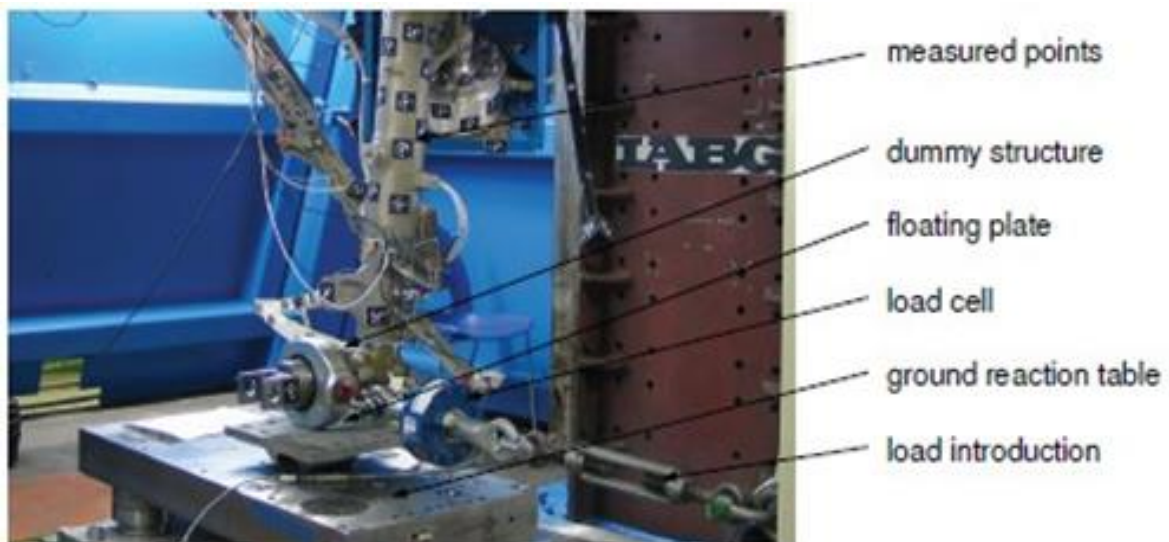
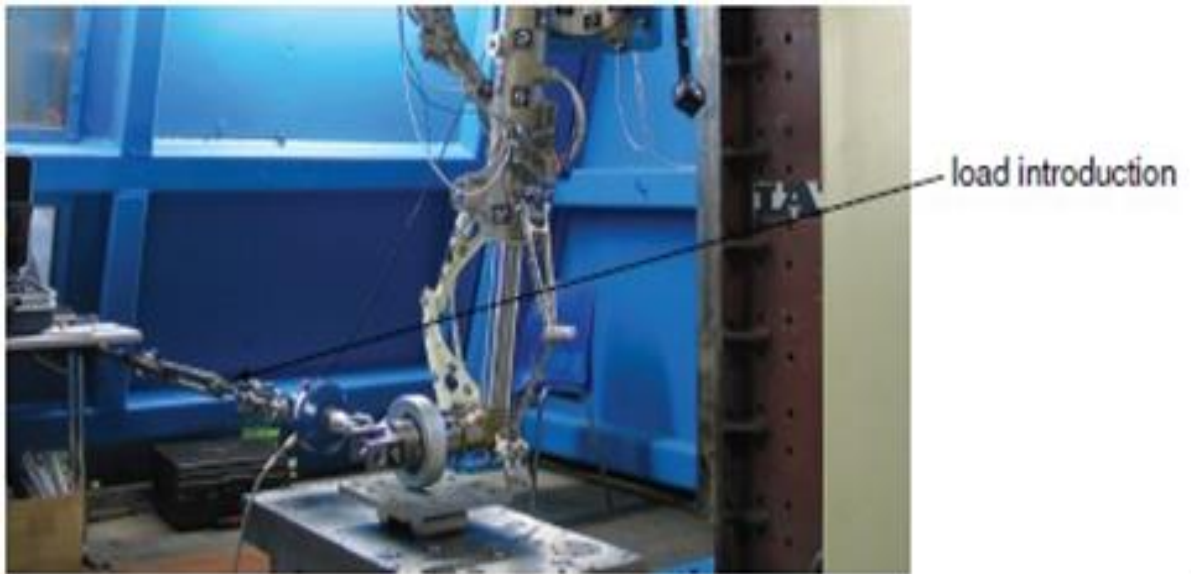


Figura 14 - Prove di rigidezza: Configurazione carico +X



**Figura 15 - Prove di rigidezza: Configurazione carico -X**



**Figura 16 - Prove di rigidezza: Configurazione carico +Y**



**Figura 17 - Prove di rigidezza: Configurazione carico -Y**

Le seguenti tabelle riportano le dodici condizioni di carico di rigidezza con relativo identificativo di prova suddivise per le differenti corse SAT:

<b>Lc n°</b>	<b>Test ID</b>	<b>Fx [N]</b>	<b>Fy [N]</b>	<b>SAT [mm]</b>
1	0.2	0	-10000	10
6	0.7	20000	0	10
7	0.8	-20000	0	10
12	0.13	0	10000	10

**Tab. 12 - LC rigidezza: SAT 10**



Lc n°	Test ID	Fx [N]	Fy [N]	SAT [mm]
3	0.4	0	-15000	180
4	0.5	25500	0	180
8	0.9	-30000	0	180
11	0.12	0	15000	180

Tab. 13 - LC rigidezza: SAT 180

Lc n°	Test ID	Fx [N]	Fy [N]	SAT [mm]
2	0.3	0	-20000	350
5	0.6	25000	0	350
9	0.1	-35000	0	350
10	0.11	0	20000	350

Tab. 14 - LC rigidezza: SAT 350

### 2.3.2 Risultati delle prove di rigidezza

Gli spostamenti dei singoli punti di ciascuna condizione di carico sono stati determinati tramite fotogrammetria confrontando le due posizioni catturate per ogni punto analizzato, senza carico applicato e con carico applicato. Gli spostamenti fanno riferimento agli assi del sistema di coordinate globale del velivolo.

Il posizionamento dei punti che sono stati analizzati è evidenziato nella figura sottostante:

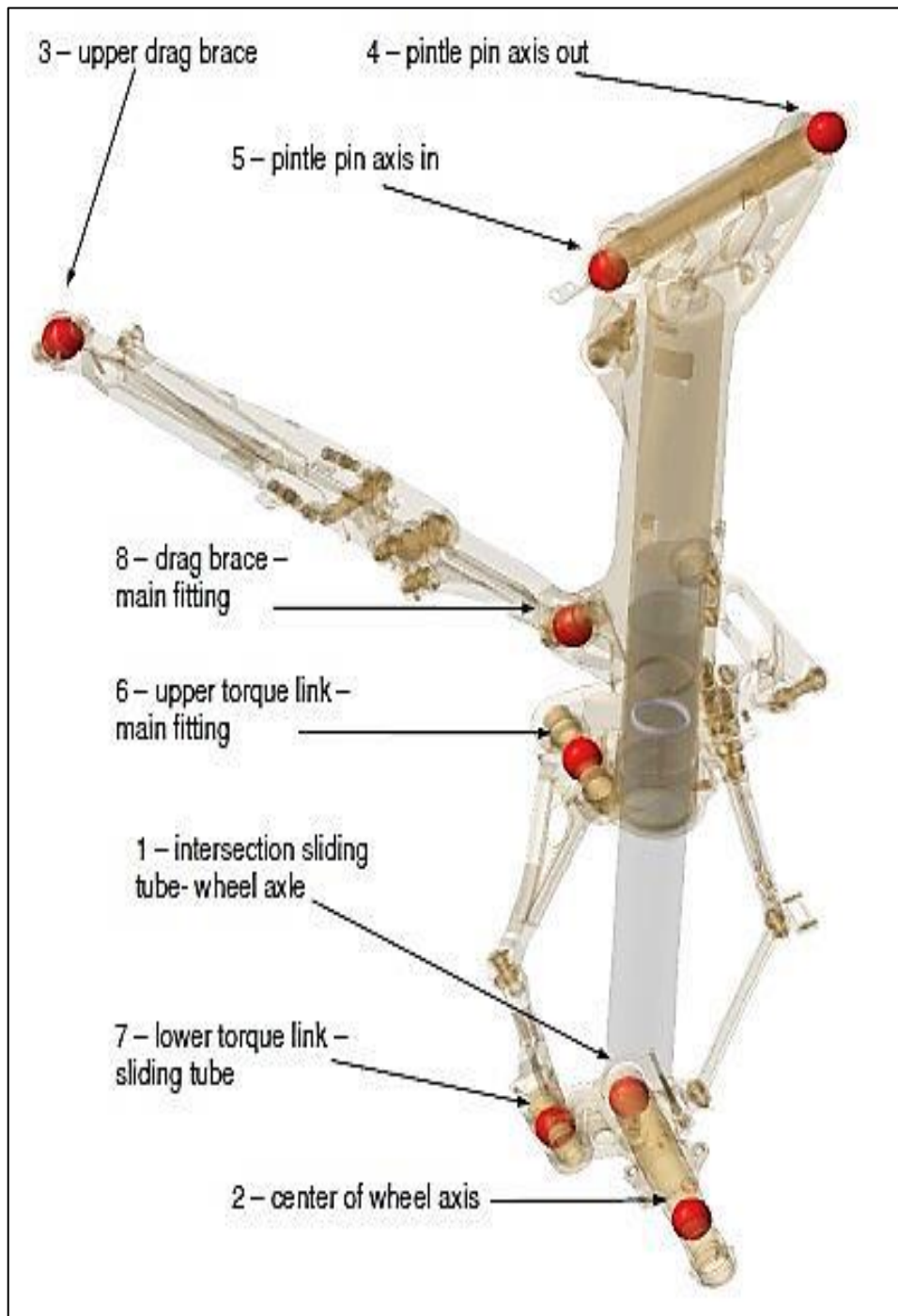


Figura 18 - Prove di rigidezza: Spostamenti

Le tabelle successive riportano i risultati delle deflessioni di questi punti:





Test-ID	Position	x	Deflections y	z	Test-ID	Position	x	Deflections y	z
0.2 y 10mm	1	0.9	-13.3	5.7	0.5 +x 180mm	1	9.3	-1.8	-1.9
	2	-0.9	-14.2	11.5		2	19.9	1.8	-0.5
	3	-0.1	0.0	0.0		3	0.5	-0.3	-0.2
	4	0.0	-0.3	0.0		4	-0.1	0.2	0.2
	5	-0.3	-0.1	0.3		5	0.0	0.0	0.0
	6	0.1	-5.3	0.9		6	3.4	-0.5	-0.7
	7	0.9	-13.2	5.7		7	9.4	-1.9	-1.9
	8	-0.1	-2.9	0.6		8	1.8	-0.6	-0.6
0.3 y 350mm	1	0.5	-10.3	-3.2	0.6 +x 350mm	1	4.4	-1.5	-0.4
	2	-1.5	-11.2	1.6		2	12.6	1.2	0.2
	3	0.1	0.1	0.0		3	0.6	0.2	-0.1
	4	0.0	-0.4	-0.1		4	0.2	0.3	0.2
	5	-0.4	-0.1	0.5		5	0.3	0.1	0.0
	6	0.3	-7.2	1.4		6	2.8	-0.3	-0.5
	7	0.5	-10.2	-3.2		7	4.5	-1.5	-0.4
	8	-0.1	-4.1	1.0		8	1.8	-0.4	-0.4
0.4 y 150mm	1	0.8	-13.8	2.3	0.7 +x 10mm	1	14.4	-3.0	-2.7
	2	-1.2	-14.6	8.7		2	28.7	3.0	-0.3
	3	-0.2	-0.2	0.1		3	0.5	0.1	-0.2
	4	-0.2	-0.2	-0.1		4	0.0	0.2	0.2
	5	-0.6	0.0	0.5		5	0.1	0.0	0.1
	6	-0.1	-7.0	1.3		6	3.3	-0.5	-0.7
	7	0.8	-13.6	2.3		7	14.6	-3.1	-2.7
	8	-0.4	-4.0	0.9		8	1.6	-0.4	-0.6
0.8 -x 10mm	1	-12.5	3.2	2.1	0.11 +y 350mm	1	0.2	9.7	3.9
	2	-26.0	-1.4	0.3		2	3.3	11.0	-0.9
	3	0.5	1.1	0.2		3	0.2	-0.3	-0.1
	4	0.8	-0.1	-0.2		4	-0.1	0.3	0.0
	5	0.7	0.0	-0.1		5	0.5	0.0	-0.6
	6	-2.0	0.9	0.5		6	0.2	6.9	-1.4
	7	-12.6	3.2	2.1		7	0.2	9.6	3.9
	8	-0.6	0.9	0.4		8	0.5	3.8	-1.0
0.9 -x 180mm	1	-8.6	2.1	1.9	0.12 +y 180mm	1	-0.3	11.2	-1.0
	2	-20.3	-1.7	0.7		2	2.6	12.4	-6.5
	3	0.1	1.3	0.3		3	0.1	0.0	0.0
	4	0.9	-0.1	-0.3		4	0.0	0.2	0.1
	5	0.6	0.1	-0.1		5	0.4	0.0	-0.4
	6	-2.5	0.8	0.6		6	0.1	6.3	-1.1
	7	-8.7	2.1	1.9		7	-0.3	11.1	-1.0
	8	-1.0	0.9	0.5		8	0.4	3.5	-0.8
0.10 -x 350mm	1	-5.1	1.3	0.7	0.13 +y 10mm	1	-0.2	12.5	3.2
	2	-15.4	-1.9	0.3		2	3.5	14.2	-2.0
	3	-1.1	-0.6	0.1		3	0.1	0.0	-0.1
	4	-0.5	-0.1	-0.3		4	0.0	0.2	0.1
	5	-0.6	0.1	0.0		5	0.3	0.0	-0.3
	6	-3.1	0.0	0.5		6	0.2	4.9	-0.9
	7	-5.2	1.3	0.7		7	-0.2	12.4	3.2
	8	-2.1	0.4	0.4		8	0.4	2.7	-0.6

Tab. 15 - Risultati LC rigidezza: Spostamenti

### 3 MODELLO AD ELEMENTI FINITI DEL CARRELLO PRINCIPALE

Il modello ad elementi finiti (FEM) del MLG è stato creato in accordo agli ultimi disegni e modelli 3D del MLG Shock Strut LH P/N 2809A0000-03. Sono state caricate nel modello le coordinate geometriche dei punti notevoli d'interfaccia, prese dal documento LLI "2900GD0001 M346 MLG Interface Control Document", e verificate le loro effettive posizioni. Nel carrello ci sono diversi tipi di interfaccia: strutturale, meccanica, elettrica, idraulica e di equipaggiamento a terra.

L'MLG Shock Strut s'interfaccia infatti con la struttura del velivolo, con il MLG Drag Brace, con l'attuatore di estensione/retrazione, con le ruote e gli pneumatici.

Descrizione	Pt. di riferimento
Lower pintle pin to airframe structure	SM1
Upper pintle pin to airframe structure	SM2
Drag brace to airframe structure	SM3
Door attach. at Strut (Upper/Fwd)	SM4
Mid-Door attach. at Strut (Upper/Aft)	SM5
Mid-Door attach. at Strut (Lower)	SM6
Aft-Door attachment at Strut	MM1
Strut to drag brace	MM2
Retract actuator attachment at Strut	MM3
Strut to uplock	MM4
Drag brace to DLRA	MM5-MM6
Wheel to axle	MM7
Sliding tube flange to brake	MM8

Tab. 16 - Punti d'interfaccia MLG

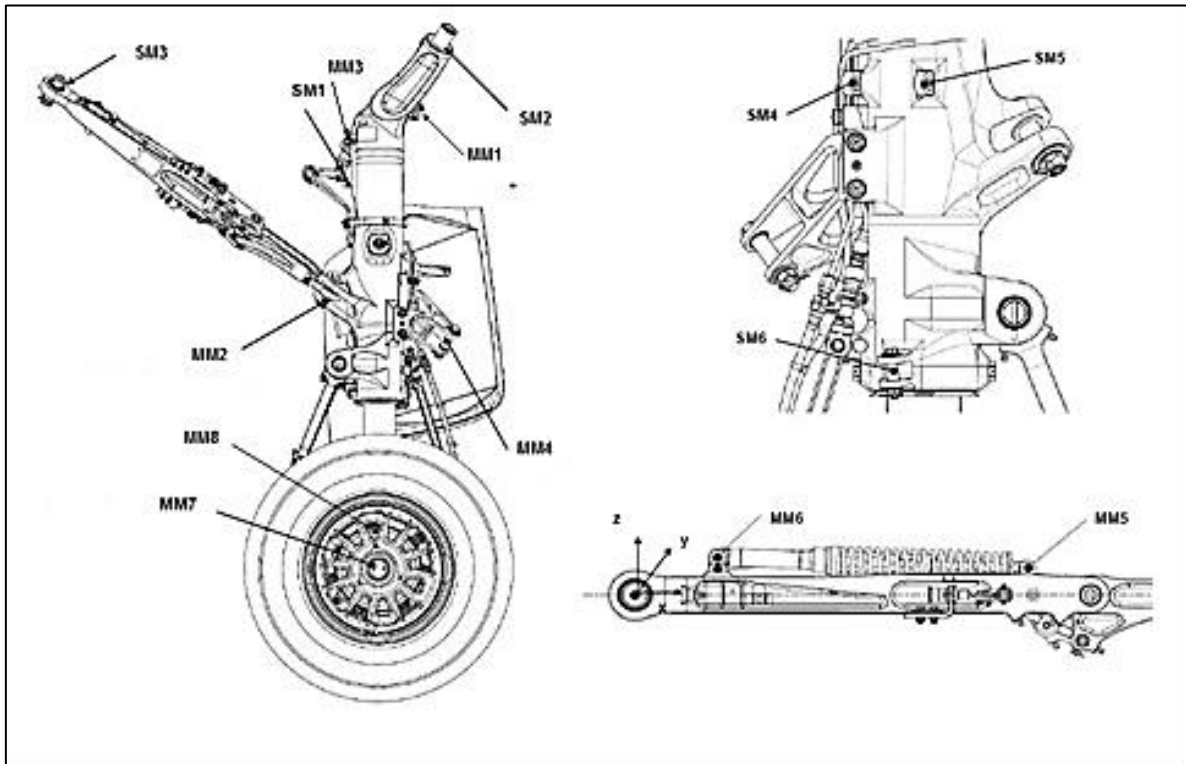


Figura 19 - Punti d'interfaccia MLG

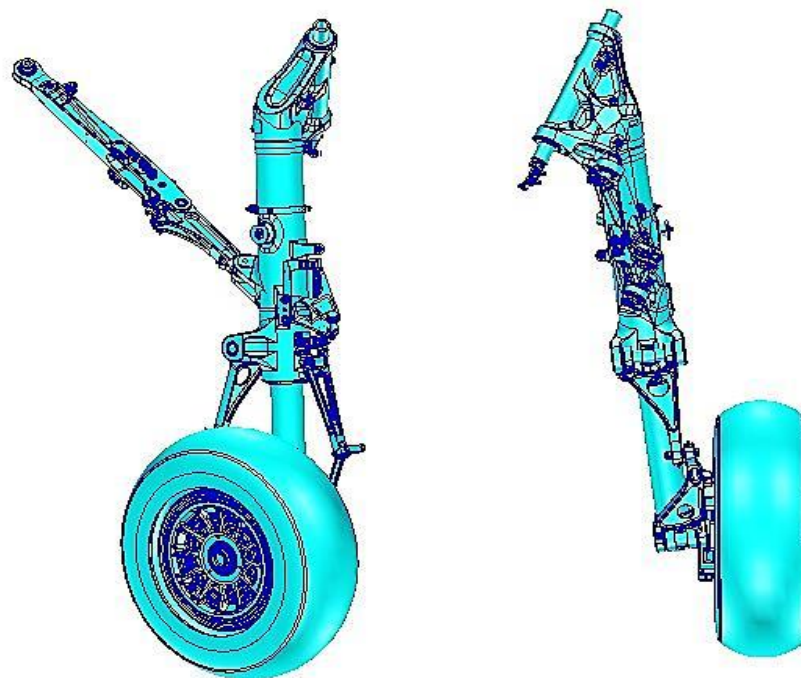


Figura 20 - Modello 3D del MLG



### 3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO

Partendo dalla geometria tridimensionale del carrello, è stato realizzato un modello ad elementi finiti del MLG, composto dai seguenti elementi:

- il *main fitting*, corpo fisso della gamba carrello
- lo *sliding tube*, stelo scorrevole della gamba carrello
- l'*upper torque link* ed il *lower torque link*, i due componenti del cinematismo del compasso
- il *drag brace*, ovvero il controvento
- il *wheel axle*, perno su cui è montata la ruota

Il *main fitting* è sostanzialmente un elemento tubolare, incernierato alla fusoliera in due punti con un perno, il *pin*. Al suo interno scorre un altro elemento tubolare più sottile, lo *sliding tube*, al cui estremo inferiore si collega l'assale della ruota.

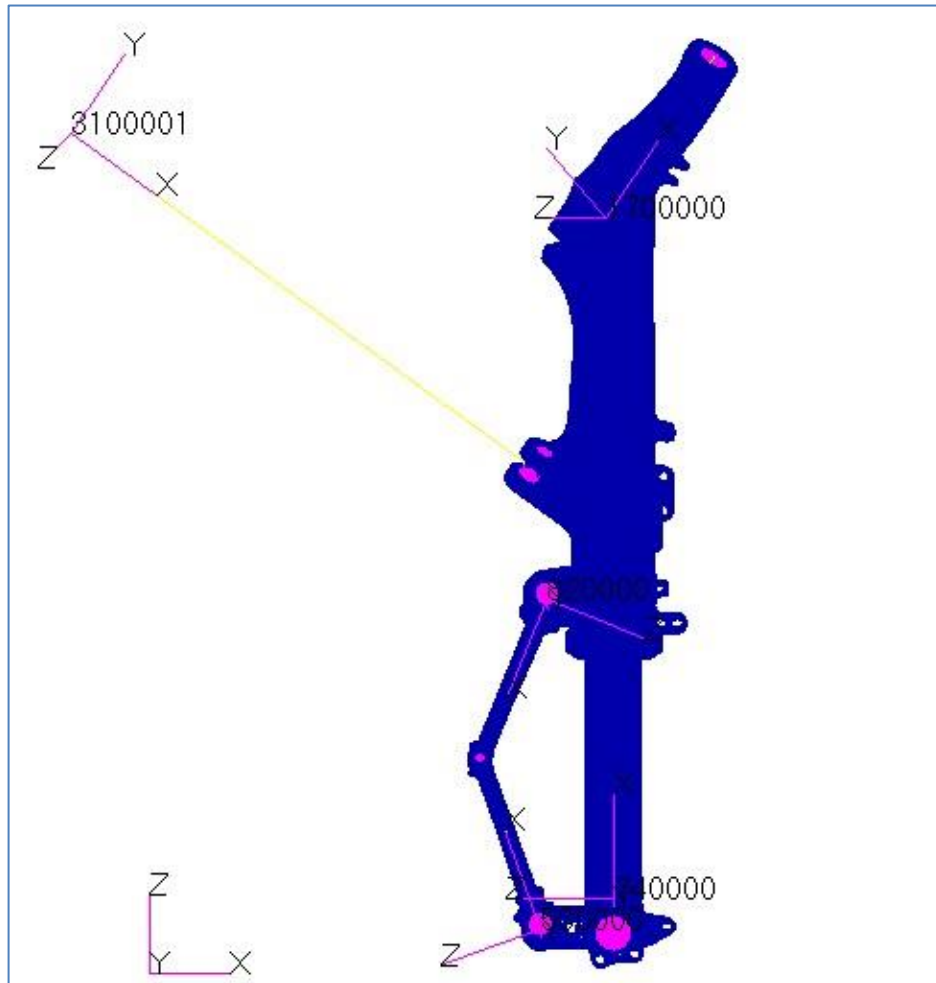
L'interno di entrambi gli elementi è sede dell'ammortizzatore oleopneumatico: la camera d'azoto è ricavata nella parte inferiore dello *sliding tube*, al di sopra è situata la camera d'olio.

Durante la compressione dell'ammortizzatore, lo spostamento relativo tra *sliding tube* e *main fitting*, provoca il passaggio dell'olio dalla camera superiore a quella inferiore attraverso dei fori nella testa dello *sliding tube*.

L'*upper torque link* ed il *lower torque link* sono i due "braccetti" del compasso: l'*upper torque link*, incernierato al *main fitting*, collega il *main fitting* al *lower torque link*; quest'ultimo è incernierato nella parte inferiore allo *sliding tube*.

Il *drag brace* incernierato tra *main fitting* e struttura velivolo è composto da due parti con un meccanismo integrato di aggancio/sgancio che permette di tenere in posizione estesa il carrello durante le fasi di decollo, atterraggio e sosta a terra.

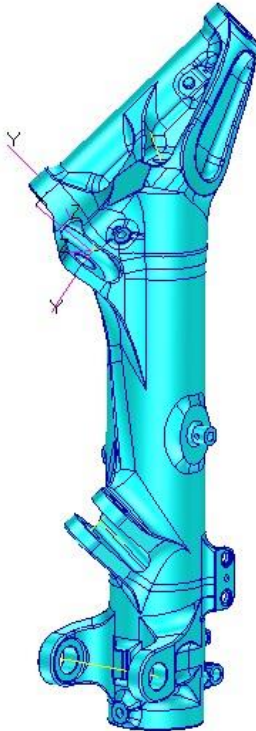
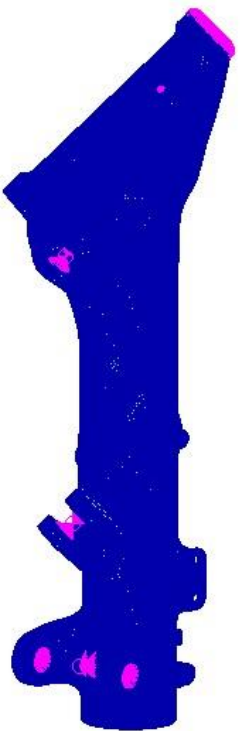
Il modello ad elementi finiti simula la presenza del *drag brace* mediante un'asta di rigidità equivalente. Il *drag brace* non è oggetto del presente lavoro.



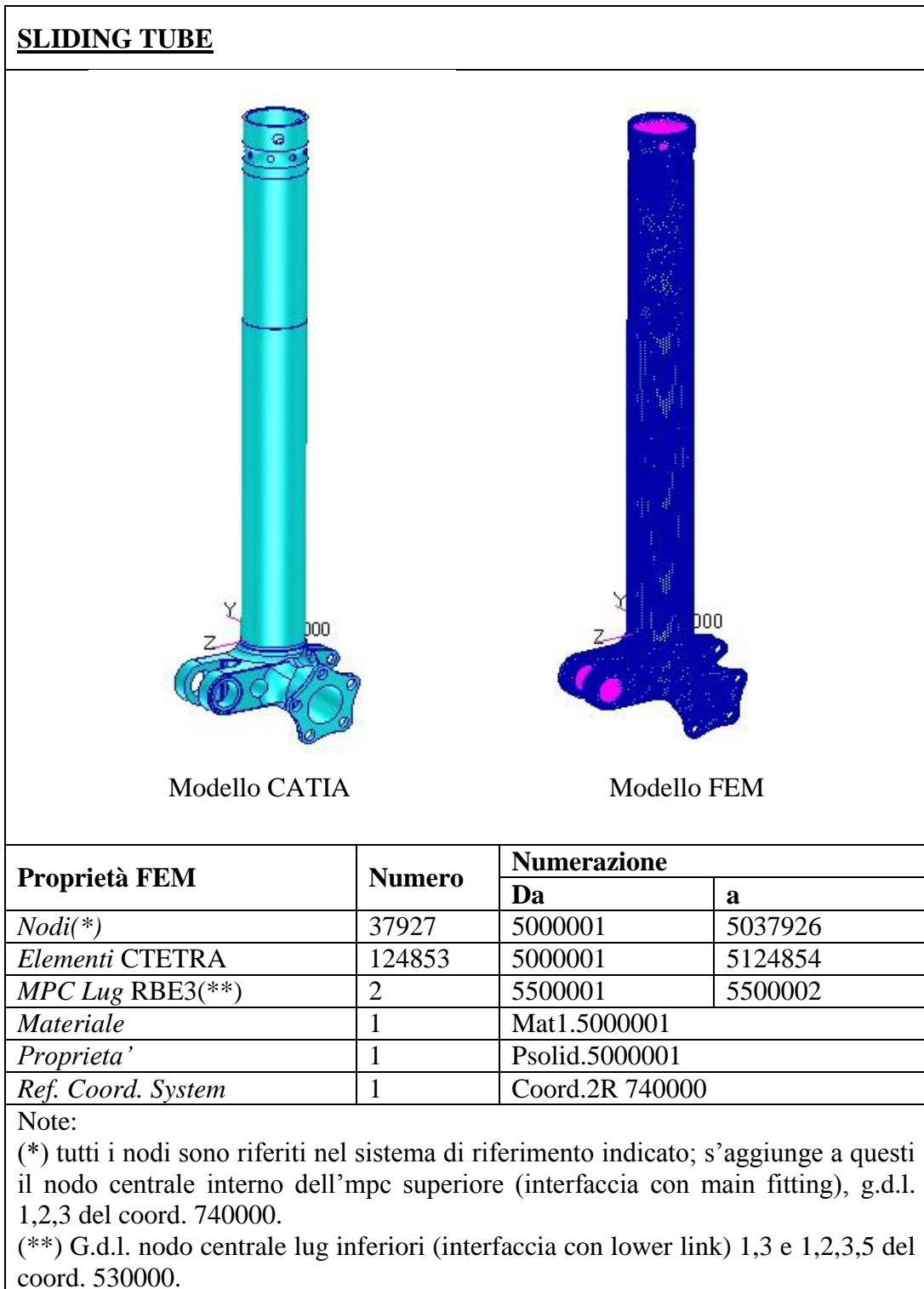
**Figura 21 - Modello 3D del MLG**

Il carrello rappresenta sia un elemento strutturale che un cinematismo mosso da un attuatore, che permette la retraction e l'estensione. La presenza di cerniere tra le sue componenti, con relativi perni passanti nelle sedi delle lug, conduce a considerare l'effetto del contatto tra i vari corpi. Tuttavia l'obiettivo del lavoro è un'analisi di tipo statico che non riguarda l'analisi delle componenti di contatto, per cui sono state adottate semplificazioni nella modellazione delle parti a contatto. Le connessioni sono modellate mediante MPC (multi point constraint).

### 3.1.1 Parti modellate con mesh 3D

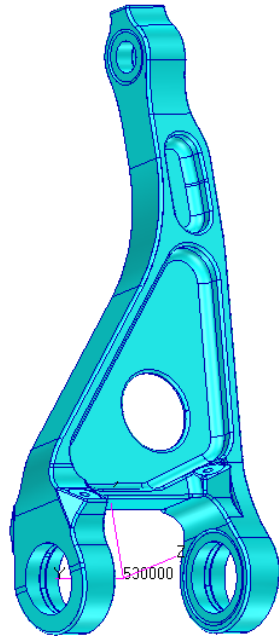
<b>MAIN FITTING</b>			
			
Modello CATIA		Modello FEM	
Proprietà FEM	Numero	Numerazione	
		Da	a
<i>Nodi(*)</i>	217515	1000001	1300018
<i>Elementi CTETRA</i>	986899	1000001	1986899
<i>MPC Lug RBE3(**)</i>	4	1999003	1999999
<i>Materiale</i>	1	Mat1.1000001	
<i>Proprieta'</i>	1	Psolid.1000001	
<i>Ref. Coord. System</i>	1	Coord.2R Globale 0	
<p>Note:</p> <p>(*) tutti i nodi sono riferiti nel sistema di coord.0, eccetto il nodo centrale dell'mpc interno (interfaccia sliding tube) coord. 740000 e i nodi del pintle pin coord. 1700000.</p> <p>(**) G.d.l. nodo centrale lug inferiori (interfaccia con upper link) 1,3 coord. 820000, g.d.l. nodo centrale lug (interfaccia con drag brace) 1,2,3 coord.0, i sei g.d.l. nodo centrale lug superiore (interfaccia con retract actuator) coord 999999.</p>			

Tab. 17 - MAIN FITTING

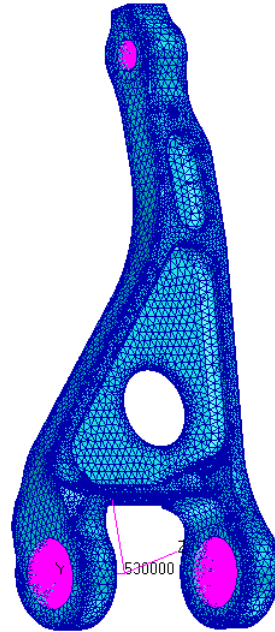


Tab. 18 - SLIDING TUBE

**LOWER TORQUE LINK**



Modello CATIA



Modello FEM

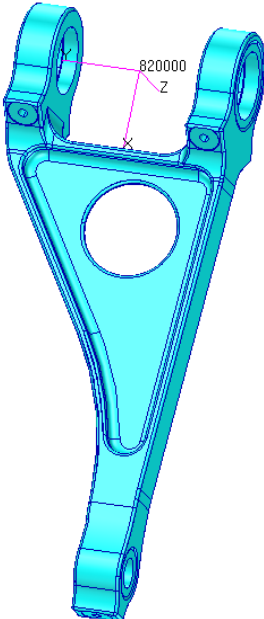
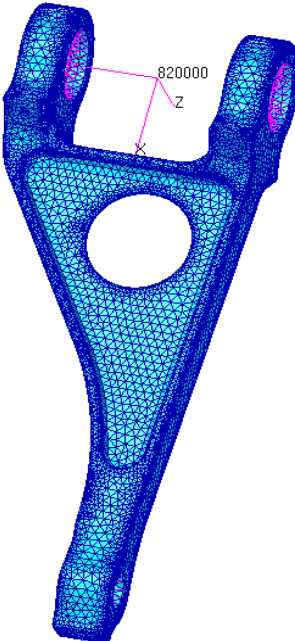
Proprietà FEM	Numero	Numerazione	
		Da	a
<i>Nodi(*)</i>	33060	3000003	3232126
<i>Elementi CTETRA</i>	150735	3000001	3150735
<i>MPC Lug RBE3(**)</i>	3	3500001	3500003
<i>Materiale</i>	1	Mat1.3000000	
<i>Proprieta'</i>	1	Psolid.3000000	
<i>Ref. Coord. System</i>	1	Coord 2R 530000	

Note:

(\*) tutti i nodi sono riferiti nel sistema di riferimento indicato.

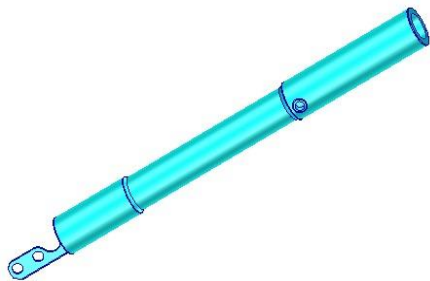
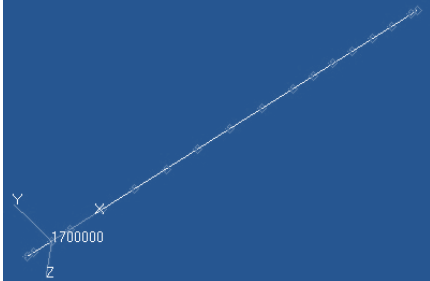
(\*\*) G.d.l. nodo centrale lug inferiori (interfaccia con sliding tube) 1,3 del coord. 530000, g.d.l. nodo centrale lug superiore (interfaccia con upper link) 1,2,3,4,6 del coord. 530000.

**Tab. 19 - LOWER TORQUE LINK**



<b>UPPER TORQUE LINK</b>			
			
Modello CATIA		Modello FEM	
Proprietà FEM	Numero	Numerazione	
		Da	a
<i>Nodi(*)</i>	28543	2000001	2198139
<i>Elementi CTETRA</i>	126968	2000001	2126198
<i>MPC Lug RBE3(**)</i>	3	2200001	2200003
<i>Materiale</i>	1	Mat1.2000001	
<i>Proprieta'</i>	1	Psolid.2000001	
<i>Ref. Coord. System</i>	1	Coord 2R 820000	
Note: (*) tutti i nodi sono riferiti nel sistema di riferimento indicato. (**) G.d.l. nodo centrale lug superiori (interfaccia con main fitting) 1,3 del coord. 820000, g.d.l. nodo centrale lug inferiore (interfaccia con lower link) 1,2,3,4,5,6 del coord. 820000.			

Tab. 20 - UPPER TORQUE LINK

### 3.1.2 Elementi bar di collegamento (Pin)

<b><u>Pintle pin</u></b>			
			
Proprietà FEM	Numero	Numerazione	
		Da	a
Nodi(*)	18	1217492	1300016
Elementi CBAR	17	1988001	1988017
Materiale	1	Mat1.1000002	
Proprieta'	3	Psolid.1000002 1000003 100004	
Ref. Coord. System	1	Coord 2R 1700000	

Tab. 21 - Pintle pin

<b><u>Torque links pin</u></b>			
			
Proprietà FEM	Numero	Numerazione	
		Da	a
Elementi CBAR upper pin	4	2126169	2126172
Elementi CBAR lower pin	4	3150736	3150739
Elementi CBAR middle pin	1	3150740	
Materiale	3	Mat1.2000002 3000002 3000003	
Proprieta'	3	Psolid.2000002 3000001 3000002	
Ref. Coord System	2	Coord 820000 530000	

Tab. 22 - Torque links pin

### 3.1.3 Vincoli “MPC” di contatto

#### 3.1.3.1 Pintle pin-Main fitting

Il collegamento tra main fitting e pintle pin è composto da quattro elementi di connessione RBE3 ed un RBE2. Gli elementi RBE3 simulano la presenza delle boccole presenti tra main fitting e pintle pin.

Le connessioni esprimono la lunghezza effettiva dei contatti dove sono presenti le boccole. Quella superiore, di maggiore lunghezza, è stata suddivisa in tre connessioni per cercare di dare una maggiore precisione nel trasferimento dei vincoli e dei carichi ai nodi del main fitting.

I nodi centrali delle connessioni appartengono alla bar del pintle pin e fanno riferimento al coord.1700000. L'elemento rigido RBE2, che collega i nodi della faccia esterna in battuta con la struttura, trasferisce i gradi di libertà di traslazione ad un unico nodo vincolato nella direzione dell'asse.

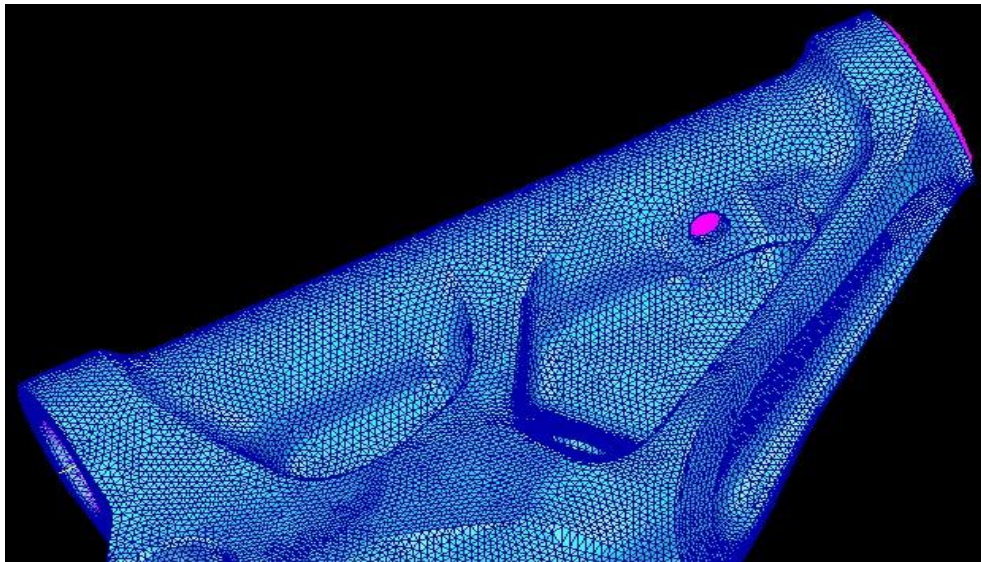


Figura 22 - Pintle pin – MF



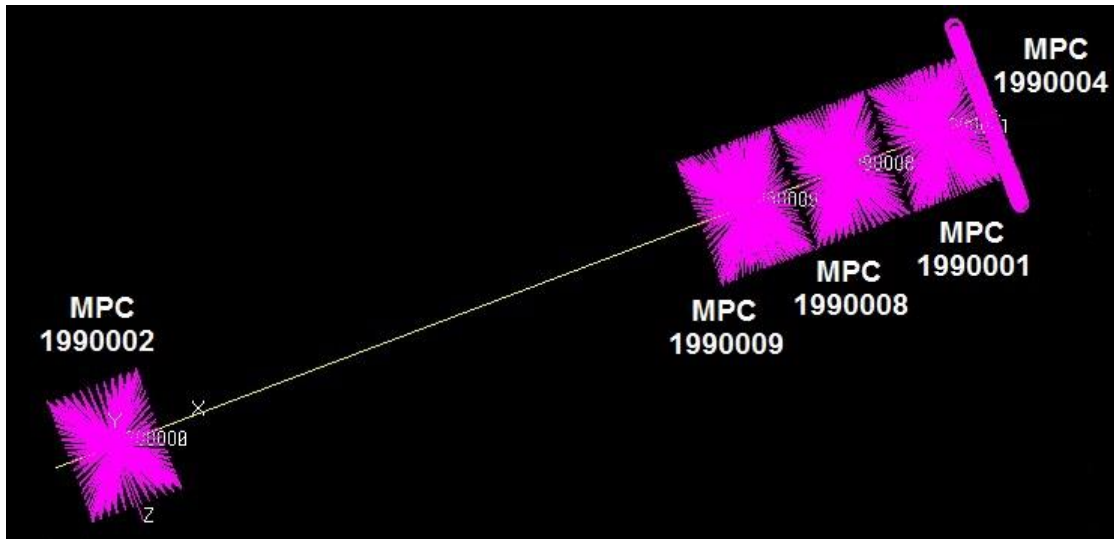


Figura 23 - MPC Pintle pin – MF

- MPC inferiore 1990002 (g.d.l. nodo centrale 2,3)
- MPC superiori 1990009 1990008 1990001 (g.d.l. nodo centrale 1,2,3,4 per il primo e 2,3 per gli altri due)
- MPC esterno 1990004 (quello più a destra, g.d.l. nodi dipendenti 1,2,3)

### 3.1.3.2 Main fitting-Upper torque link

Le seguenti figure rappresentano la connessione tra il main fitting (MF) e l'upper torque link (UTL):

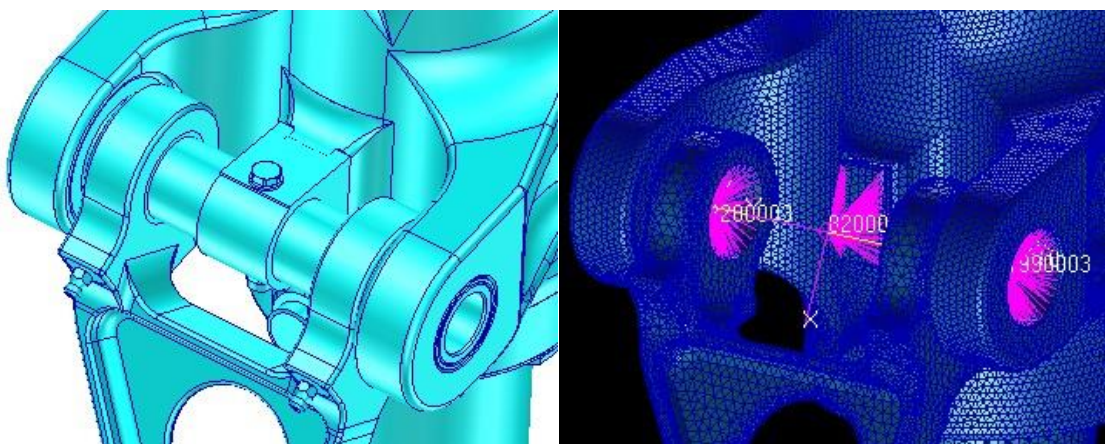


Figura 24 - MF-UTL

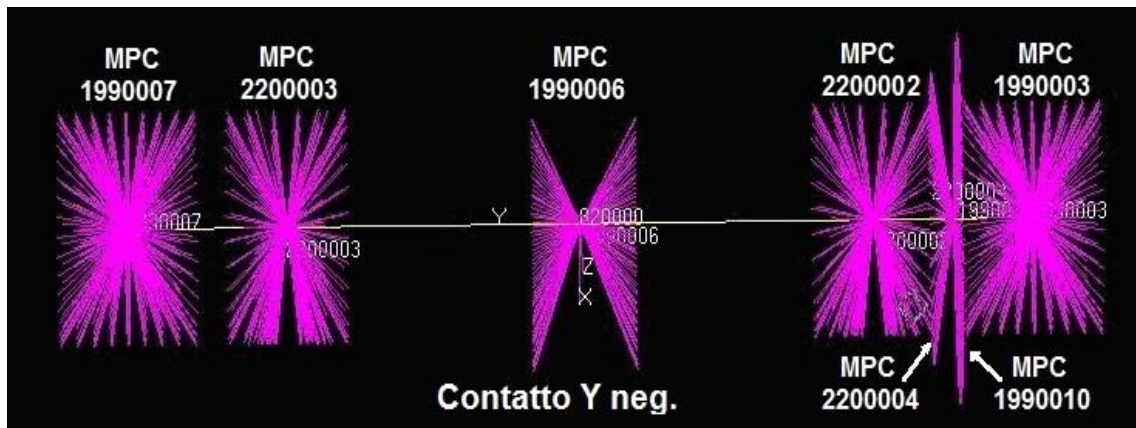


Figura 25 - MPC MF-UTL - Contatto Y Negativo

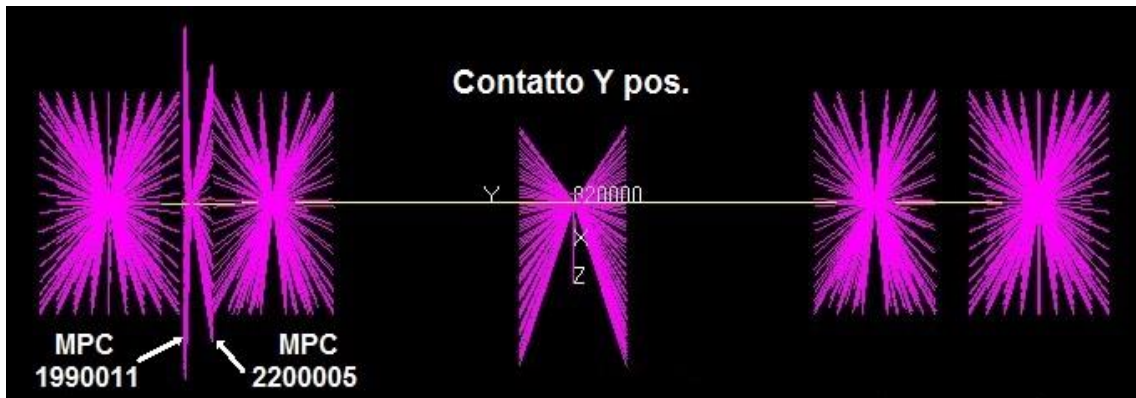


Figura 26 - MPC MF-UTL - Contatto Y Positivo

Le connessioni MPC rappresentate sono sette:

- quattro che collegano i nodi delle bar ai nodi delle superfici interne sedi delle lug, *MPC lug UTL/MF-bar: 2200002 2200003 1990007 1990003* (vedi Tab. precedenti)
- una, quella centrale, che rappresenta il collegamento della bar al main fitting, *MPC centrale MF-bar: 1990006* (g.d.l. 2,5 nodo centrale)
- e due, che costituiscono il contatto tra le superfici in battuta del main fitting e dell'upper torque link (a sinistra o a destra seconda della condizione di carico):

*MPC contatto MF-UTL: 1990010 2200004* (contatto è verso Y negativo)

*MPC contatto MF-UTL: 1990011 2200005* (contatto è verso Y positivo)

I nodi centrali delle connessioni fanno riferimento al coord.820000. Tutti i sei gradi di libertà sono trasferiti ai nodi centrali dei contatti, questi sono uniti tra loro con una CELAS in direzione dell'asse y (g.d.l. 2).

### 3.1.3.3 Upper torque link-Lower torque link

Le seguenti figure rappresentano la connessione tra l'upper torque link (UTL) ed il lower torque link (LTL):

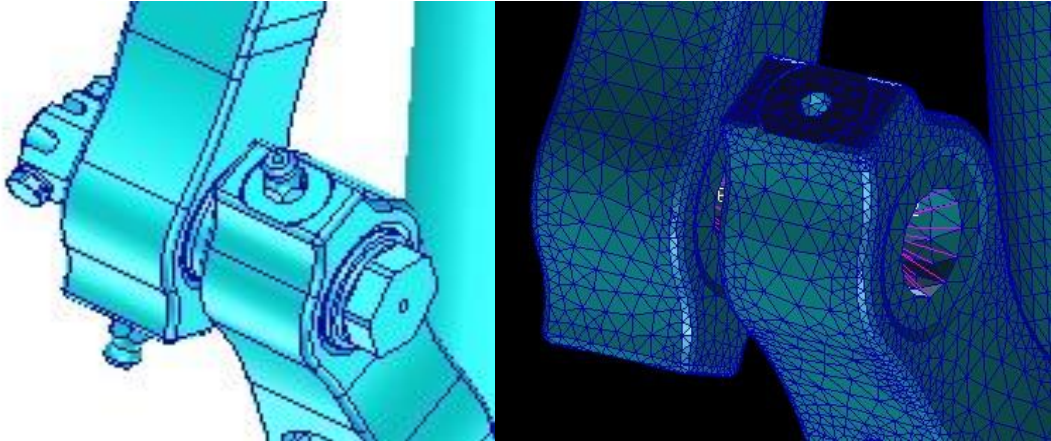


Figura 27 - UTL-LTL

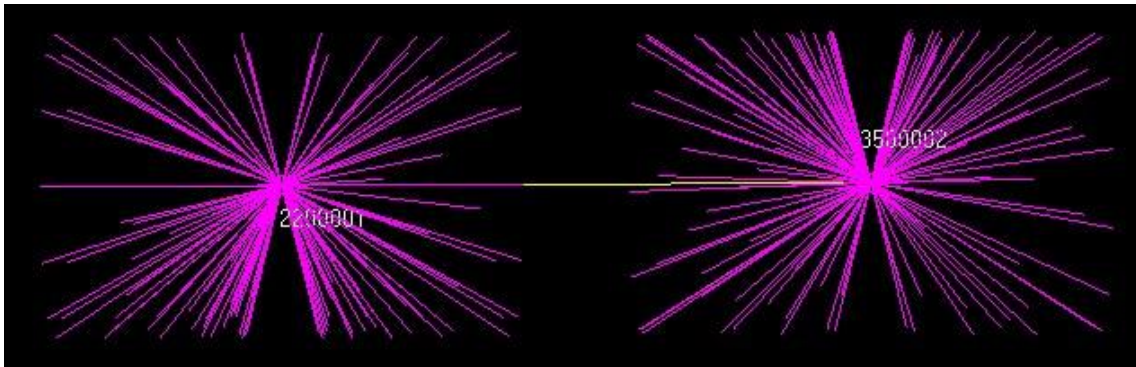


Figura 28 - MPC UTL-LTL

Il collegamento avviene tra gli estremi della bar, che sono anche i nodi centrali delle due connessioni MPC, e i nodi delle superfici interne sedi delle lug:

- *MPC lug UTL/LTL-bar: 2200001 3500002 (vedi note Tabelle precedenti)*



### 3.1.3.4 Lower torque link-Sliding tube

Le seguenti figure rappresentano la connessione tra il lower torque link (LTL) e lo sliding tube (ST):

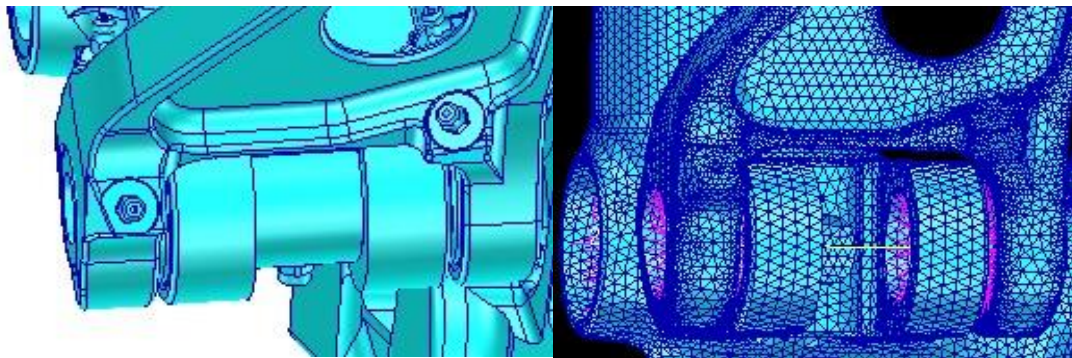


Figura 29 - LTL-ST

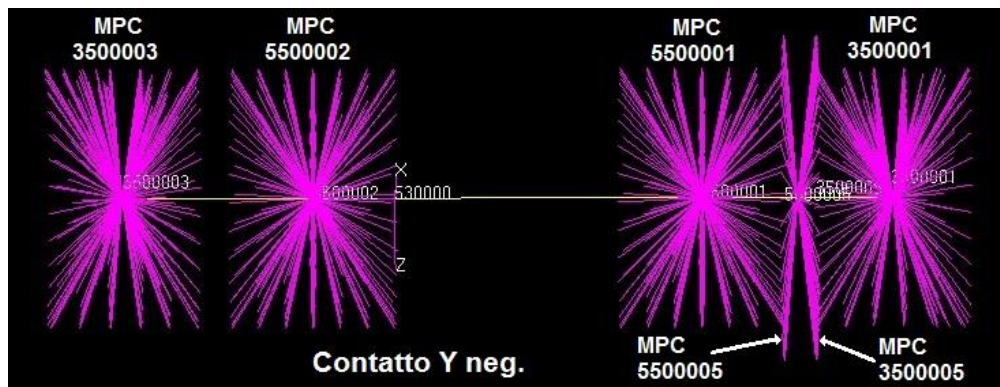


Figura 30 - MPC LTL-ST - Contatto Y Negativo

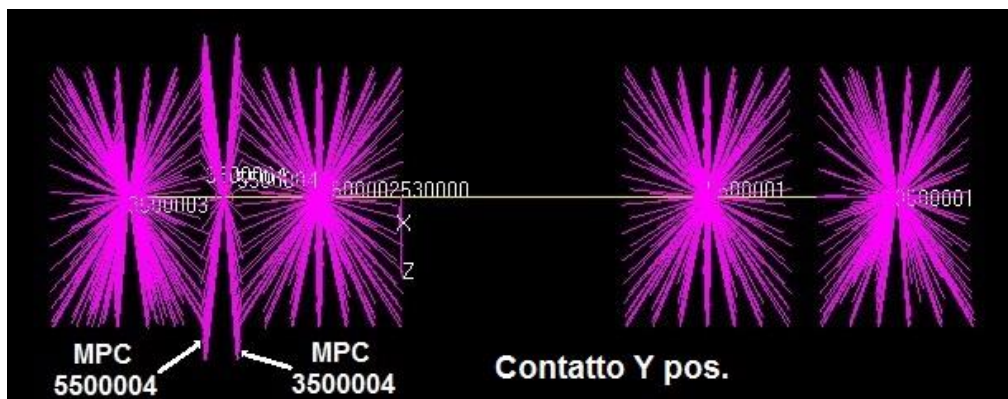


Figura 31 - MPC LTL-ST - Contatto Y Positivo



Le connessioni MPC rappresentate sono sei:

- quattro che collegano le lug del lower torque link e dello sliding tube alle bar, *MPC lug LTL/ST-bar: 3500001 3500003 5500001 5500002* (vedi nota Tab. precedenti)
- due che rappresentano il contatto tra le relative facce delle lug (a sinistra o a destra a seconda della condizione di carico):

*MPC contatto LTL-ST: 3500005 5500005* (il contatto è verso  $Y$  negativo)

*MPC contatto LTL-ST: 3500004 5500004* (il contatto è verso  $Y$  positivo)

I nodi centrali delle connessioni fanno riferimento al coord.530000. Tutti i sei gradi di libertà sono trasferiti ai nodi centrali dei contatti, questi sono uniti tra loro con una CELAS in direzione dell'asse  $y$  (g.d.l. 2).

### 3.1.3.5 Main fitting-Sliding tube

Lo sliding tube (ST) scorre all'interno del main fitting (MF). I due elementi tra loro sono in contatto relativo in due zone. Consultando i disegni si è verificata l'effettiva posizione di queste due zone e sono stati creati quattro MPC di contatto: una coppia di contatti nella zona inferiore e un'altra coppia in quella superiore.

Quella inferiore è composta da un MPC fisso, che collega i nodi sulla superficie interna del main fitting, e da un MPC più interno connesso ai nodi della superficie esterna dello sliding tube, che cambia per ogni condizione di schiacciamento dello sliding tube.

Viceversa il contatto nella parte superiore è dato da un MPC fisso, che collega i nodi della parte alta dello sliding tube, e da un MPC più esterno connesso ai nodi della superficie interna del main fitting, che cambia per ogni condizione di schiacciamento dello sliding tube.

Entrambe le coppie di contatti hanno il nodo centrale coincidente che si riferisce al coord.740000 avente l'asse x diretto come l'asse dello sliding tube. Questi nodi sono uniti da CELAS in direzione delle traslazioni (g.d.l. 1,2,3).

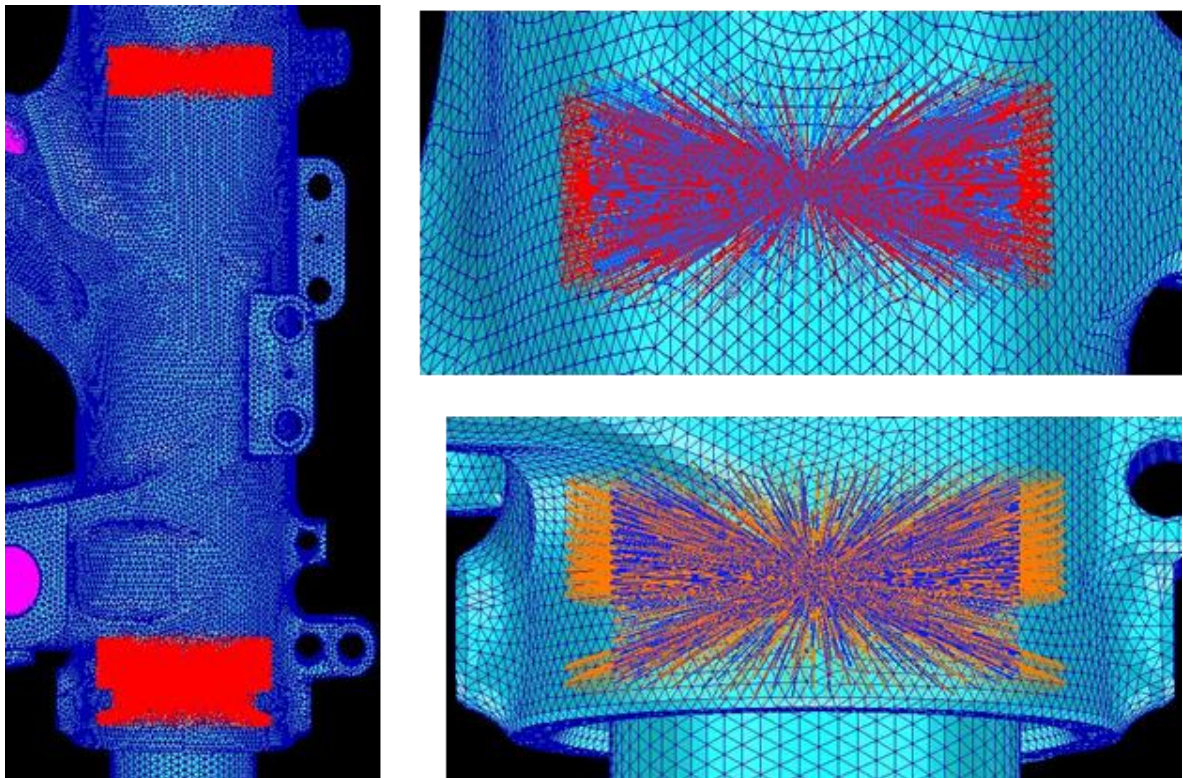


Figura 32 - MPC MF-ST

- *MPC inferiore fisso MF: 1990012 (G.d.l. nodo centrale 2,3)*
- *MPC inferiore mobile ST: (varia con la condiz. di carico, G.d.l. nodo centrale 2,3)*
- *MPC superiore fisso ST: 5500008 (G.d.l. nodo centrale 1,2,3)*
- *MPC superiore mobile MF: (varia con la condiz. di carico, G.d.l. nodo centrale 2,3)*



### 3.1.4 Vincoli “SPC” d’interfaccia

La figura mostra i punti dove sono stati imposti dei vincoli SPC (Single Point Constraint) per fissare il modello del MLG:

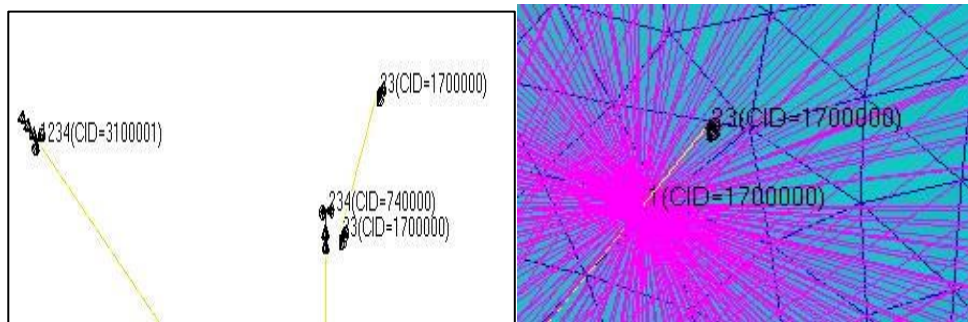


Figura 33 - Vincoli SPC

Vincoli SPC	G.d.l. vincolati	Sist. Riferimento CID
Drag brace-struttura	1 2 3 4	3100001
Pintle pin-struttura	2 3	1700000
Main fitting-pintle pin	1	1700000
Main fitting-sliding tube	2 3 4	740000

Tab. 23 - Vincoli SPC

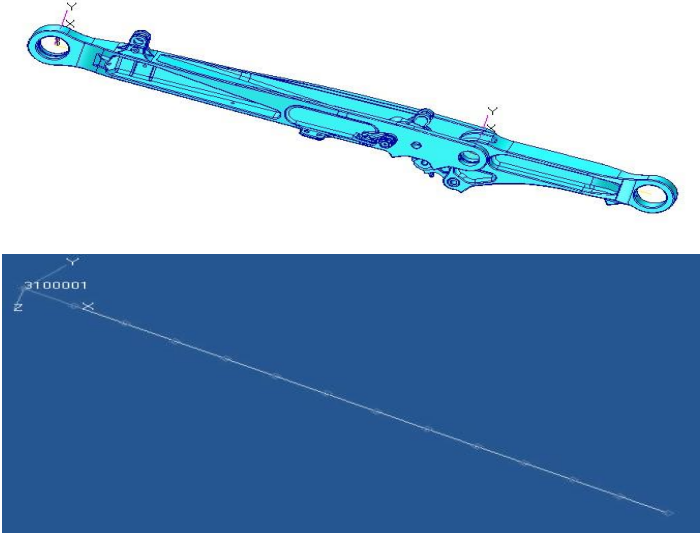
Il main fitting nella parte superiore è vincolato in due punti alla struttura attraverso il pintle pin. Nella parte inferiore del main fitting è incernierato il drag brace, il quale a sua volta è vincolato alla struttura con un bullone passante nella lug superiore. Infine lo sliding tube è stato collegato al main fitting con una bar vincolata al suo estremo superiore.

### 3.1.5 Descrizione del Drag Brace

Il drag brace (DB) è incernierato tra main fitting e struttura velivolo.

E' composto da due parti principali, il lower drag brace e l'upper drag brace, collegate con un meccanismo integrato di aggancio/sgancio che permette di tenere in posizione estesa il

MLG durante le fasi di decollo/atterraggio e sosta a terra. E' stato rappresentato con elementi bar. Per definire le proprietà di tali bar sono stati fatti due modelli di dettaglio (vedi capitolo successivo).

<b><u>DRAG BRACE</u></b>			
			
<b>Proprietà FEM</b>	<b>Numero</b>	<b>Numerazione</b>	
		<b>Da</b>	<b>a</b>
<i>Nodi(*)</i>	14	4000001	4000114
<i>Elementi CBAR</i>	13	4000001	4000013
<i>Materiale</i>	2	Mat1.4000001 4000002	
<i>Proprietà'(**)</i>	2	Psolid.4000001 4000002	
<i>Ref. Coord. System</i>	1	Coord 2R 3100001	
<b>Note :</b> (*) tutti i nodi sono riferiti nel sistema di riferimento indicato. (**) Raggio equivalente di 17mm per l'upper DB e di 17.54mm per il lower DB. Sei rigidezze CELAS del valore di 1e5 per i sei g.d.l. dello snodo tra le due parti.			

**Tab. 24 - DRAG BRACE**

### 3.1.5.1 Simulazione del Drag Brace

Per simulare il drag brace si è proceduto nel seguente modo: dapprima si è creata la mesh delle due parti principali, ovvero, la parte superiore (upper DB) e inferiore (lower DB). In seguito le due parti sono state analizzate con lo scopo di trovare un'area equivalente da assegnare al puntone-tirante nel modello globale del MLG. Le due parti sono state vincolate a terra e sono state caricate staticamente lungo la retta congiungente i centri delle lug. Dopo aver verificato lo spostamento del punto d'applicazione del carico (il centro della connessione MPC) è stata calcolata l'area equivalente per le due parti da assegnare al puntone-tirante sfruttando la semplice relazione:

$$K = \frac{F}{S} = \frac{EA}{L}$$

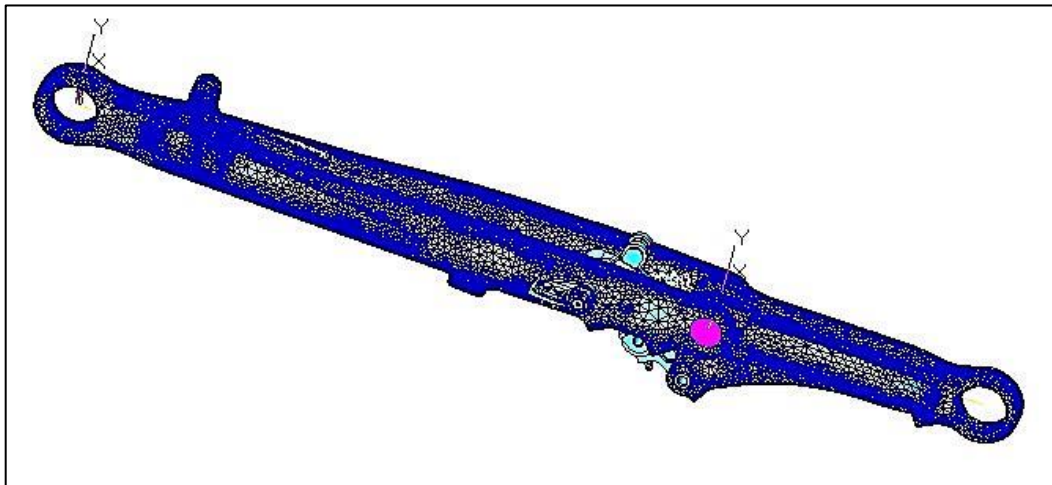
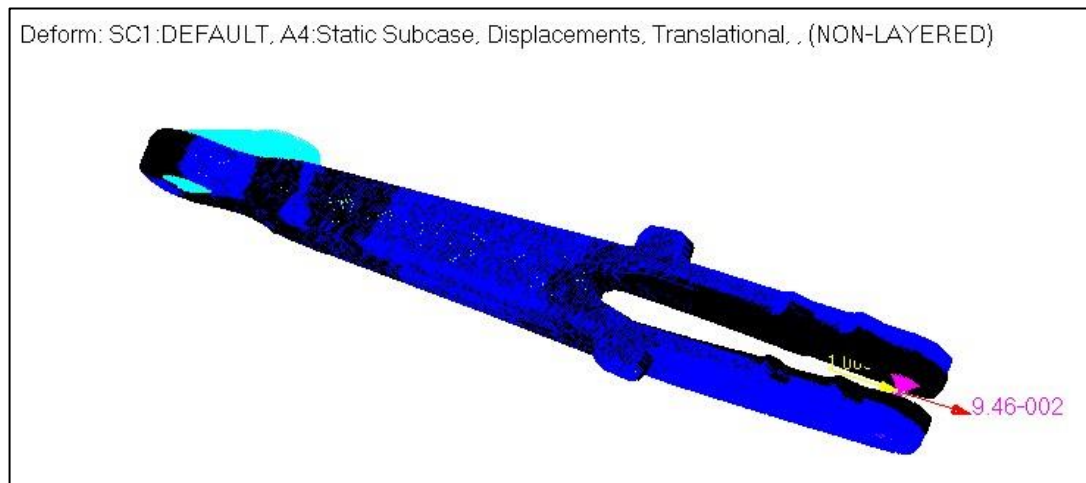


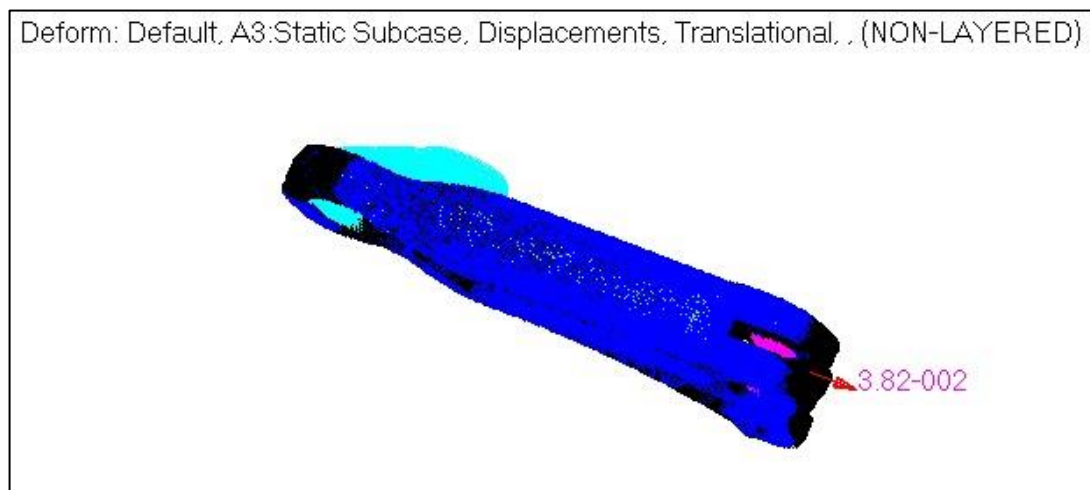
Figura 34 - Mesh Drag Brace

	F [KN]	L [mm]	E [Mpa]	S [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	R [mm]
<b>LOWER DB</b>	10	254.6	68950	0.0382	966.63	17.54
<b>UPPER DB</b>	10	605	70327	0.0946	909.37	17.01

Tab. 25 - LOWER DB-UPPER DB



**Figura 35 - Upper Drag Brace**



**Figura 36 - Lower Drag Brace**

Infine per consentire il movimento tra le due parti è stata creata una connessione ELAS (g.d.l. 1,2,3,4,5,6) tra i nodi dove si congiungono gli elementi bar del lower drag brace e dell'upper drag brace.

### 3.1.6 Descrizione del Wheel Axle

L'assale su cui è posizionata la ruota, detto wheel axle (WA), è l'elemento montato all'interno dello sliding tube che introduce il carico nel MLG Shock Strut.

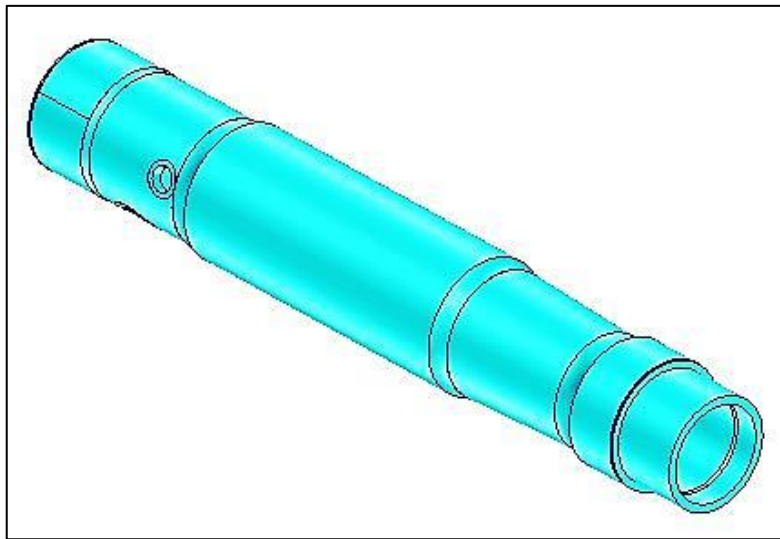


Figura 37 - Wheel Axle

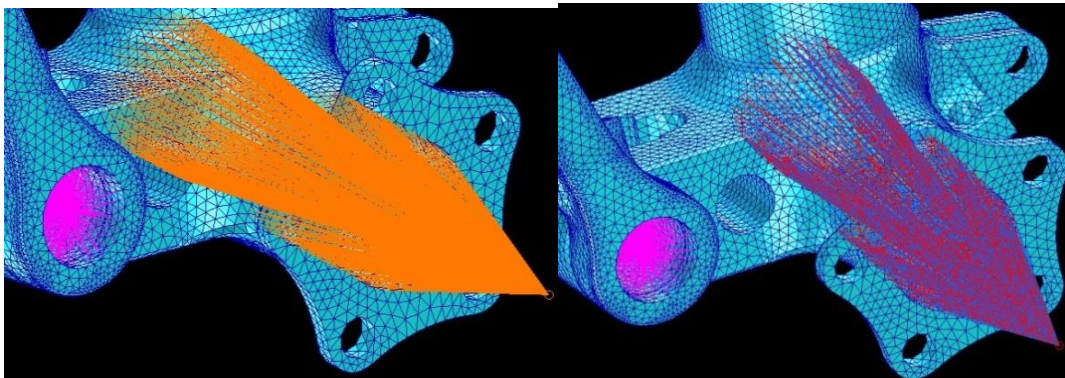


Figura 38 - MPC Wheel Axle

Le figure rappresentano la geometria del wheel axle e l'MPC di contatto tra wheel axle e sliding tube. Il wheel axle è stato rappresentato con un elemento MPC che ha come nodo centrale il nodo 5300004 (g.d.l. 1,2,3,4,5,6) dove sono introdotti i carichi di prova, e come nodi dipendenti (g.d.l. 1,2,3) i nodi della superficie interna dello sliding tube.

### 3.1.7 Sistemi di riferimento per le condizioni di prova

Per ogni condizione di prova sono stati creati dei sistemi di riferimento in modo da posizionare le parti del modello secondo le relative corse dell'ammortizzatore SAT. Dato che il main fitting e il drag brace sono fissati alla struttura, le parti che hanno bisogno di essere posizionate correttamente sono quelle in movimento: mentre lo sliding tube e il wheel axle traslano in direzione verticale, l'upper torque link ruota rispetto al main fitting e il lower torque ruota e trasla. Per trovare le origini dei sistemi di riferimento ci si è ricondotti in un unico piano passante per tre punti, in seguito sono stati creati sistemi ortogonali posizionati secondo gli assi degli elementi.

Parte del modello	Sist. Riferimento CID
MF	0
DB	3100001
ST	740000
WA	210000
UTL	820000
LTL	530000

Tab. 26 - Sistemi di riferimento

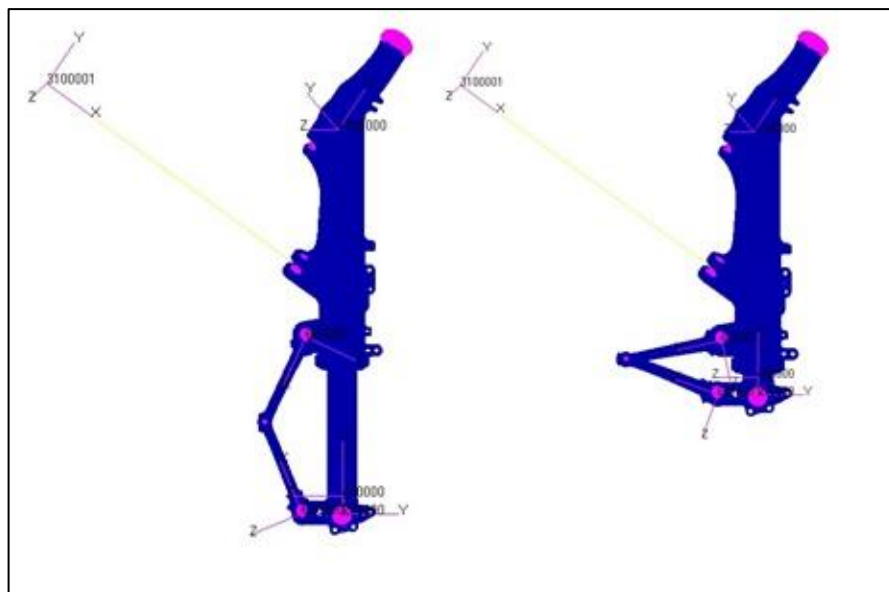


Figura 39 - MLG SAT 10 - SAT 350



### 3.1.8 Proprietà dei materiali

Per i materiali, indicati nella documentazione “2901QD0007”, è stato consultato il database “MMPDS-03” per ricavare i valori del modulo elastico, del modulo di elasticità tangenziale e del coefficiente di Poisson.

Parte modello	Tipo di materiale	Materiale	F <sub>ty</sub> [Mpa]	F <sub>tu</sub> [Mpa]	E [Mpa]	G [Mpa]	$\nu$
MF	Lega alluminio	Al 7175 T74	420	490	70327	26439	0.33
ST/UTL	Lega acciaio	E35NCD16H	1450	1800	199948	75738	0.32
WA/Torque link pin	Lega acciaio	MarvalX12H	1300	1400	196501	74432	0.32
LTL/Pintle pin	Lega acciaio	15-5PH	1000	1069	196501	77221	0.27
UDB	Lega alluminio	A17050 T7451	413	482	70327	26439	0.33
LDB	Lega alluminio	A17075 T7351	358	475	68950	25921	0.33

Tab. 27 - Materiali

## 3.2 ANALISI MODALE

Per verificare i primi dieci modi del MLG è stata fatta un'analisi modale sia per la struttura vincolata che non vincolata.

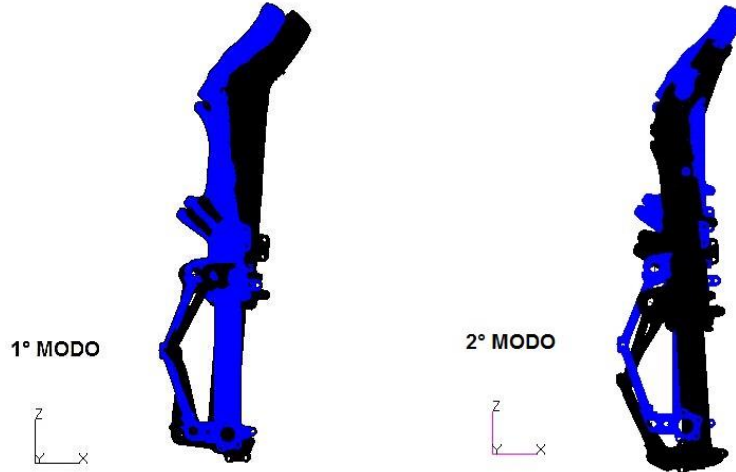
Modi	Frequenza [Hz]	
	NV	VV
1	0	83.272
2	0	101.68
3	0	273.11
4	0	333.78
5	0	445.35
6	0	465.81
7	270.84	609.6
8	373.53	766.11
9	379.1	808.26
10	542.42	855.34

Tab. 28 - Frequenze dei modi

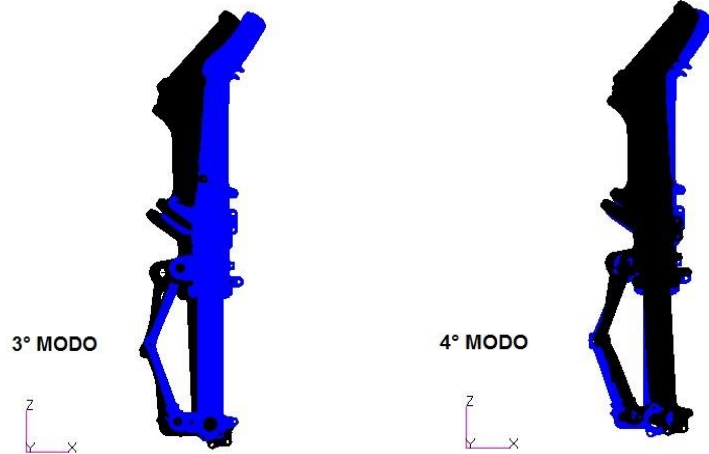
Sono riportate le immagini dei primi sei modi rigidi per la modale non vincolata e i primi sei modi per la modale vincolata

### 3.2.1 Modale non vincolata

Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 1 : Freq. = 0.0018854, Eigenvectors, Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 2 : Freq. = 0.0016571, Eigenvectors.



Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 3 : Freq. = 0.0014227, Eigenvectors, Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 4 : Freq. = 0.0012413, Eigenvectors.



Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 5 : Freq. = 0.0010173, Eigenvectors, Deform: MODALE\_NV.SC1, A1.Mode 6 : Freq. = 0.00065827, Eigenvectors.

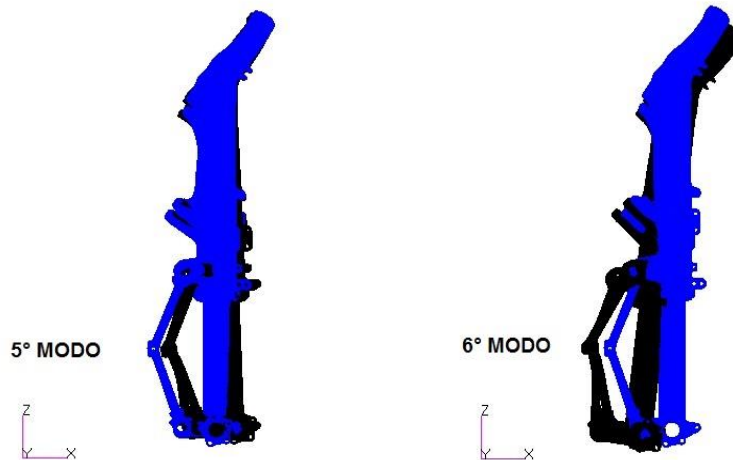
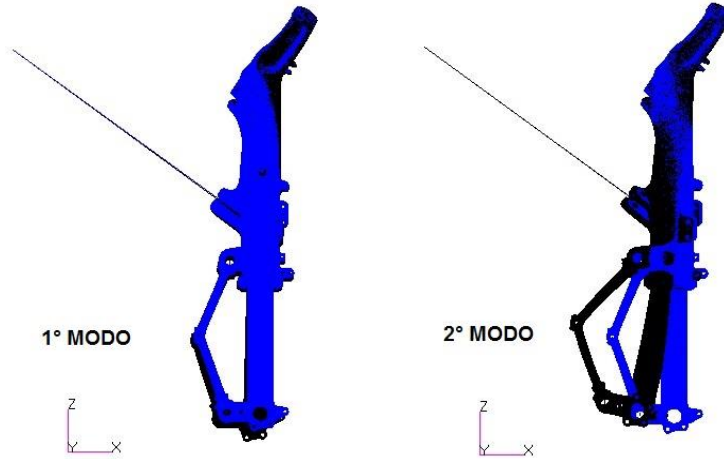


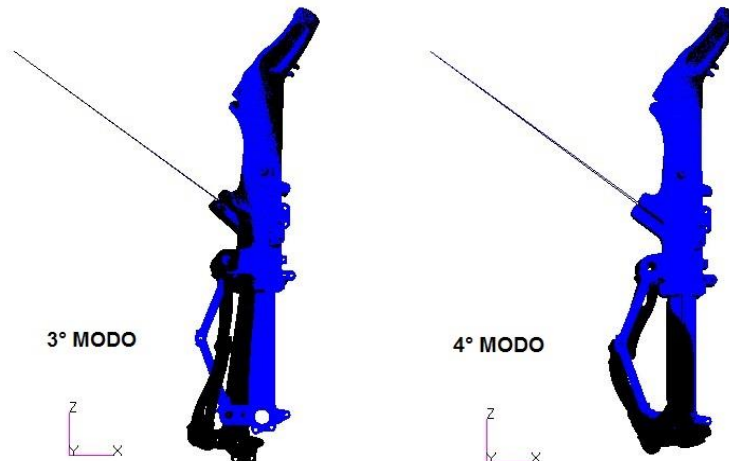
Figura 40 - Modi non vincolati

### 3.2.2 Modale vincolata

Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 1 : Freq. = 83.272, Eigenvectors, Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 2 : Freq. = 101.68, Eigenvectors.



Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 3 : Freq. = 273.11, Eigenvectors, Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 4 : Freq. = 333.78, Eigenvectors.



Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 5 : Freq. = 445.35, Eigenvectors, Deform: DEFAULT.SC1, A1.Mode 6 : Freq. = 465.81, Eigenvectors.

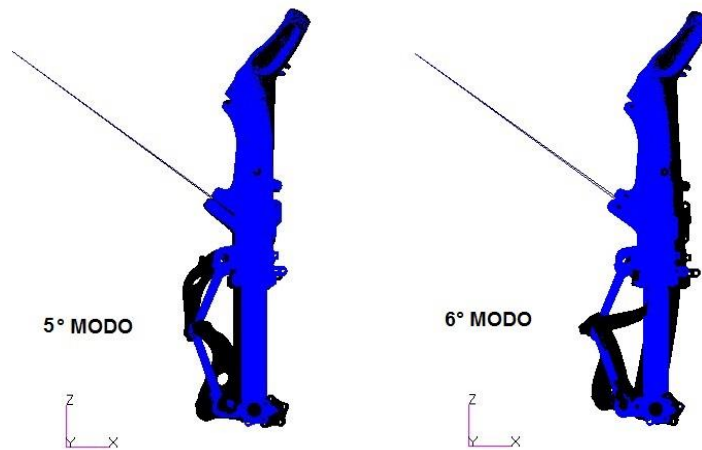


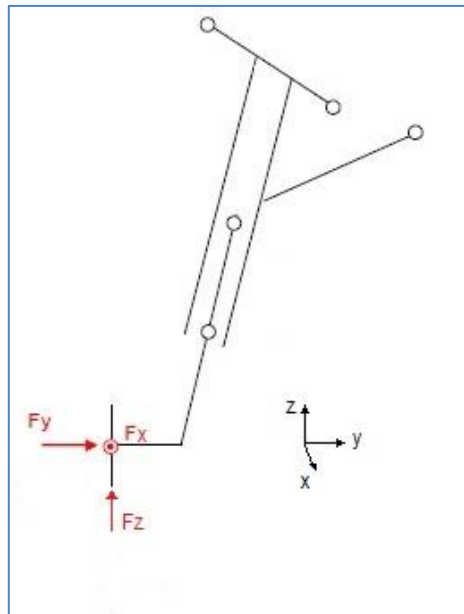
Figura 41 - Modi vincolati

### 3.3 APPLICAZIONE DEI CARICHI

Nel modello del MLG sono applicati i carichi statici per le condizioni di prova analizzate.

I carichi sono dati dalle forze longitudinali  $F_x$ , laterali  $F_y$ , e verticali  $F_z$ .

Sia per le condizioni di carico di rigidezza che per quelle di resistenza i carichi sono introdotti nel modello nel nodo 5300004 (centro ruota) e sono diretti secondo gli assi globali del velivolo. Per entrambe le condizioni sono applicati carichi longitudinali e/o laterali. Rispetto alle condizioni di carico di rigidezza, le condizioni di carico di resistenza si differenziano, oltre che per l'entità delle forze applicate, per l'introduzione di carichi verticali.



**Figura 42 - Applicazione dei carichi**

Inoltre per due condizioni di carico di resistenza è stato introdotto un momento di trasporto dovuto all'applicazione della forza nel centro ruota (anziché nel punto di contatto col terreno come nelle prove) avente come braccio il raggio di rotolamento della ruota (RR).

Per la condizione 2pt drift landing RH, è stato introdotto un momento  $M_x$ , dovuto all'applicazione della forza  $F_y$ ; invece per la condizione 2pt braked roll è stato introdotto un momento  $M_y$ , dovuto all'applicazione della forza  $F_x$ .

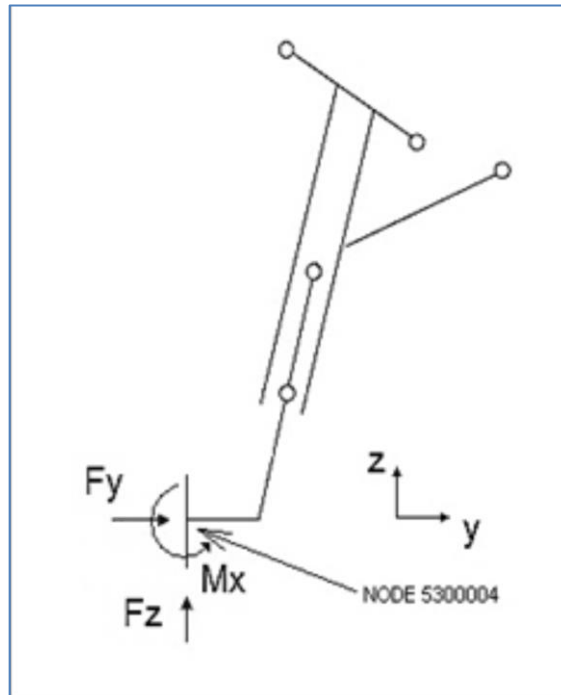


Figura 43 - 2pt Drift Landing RH

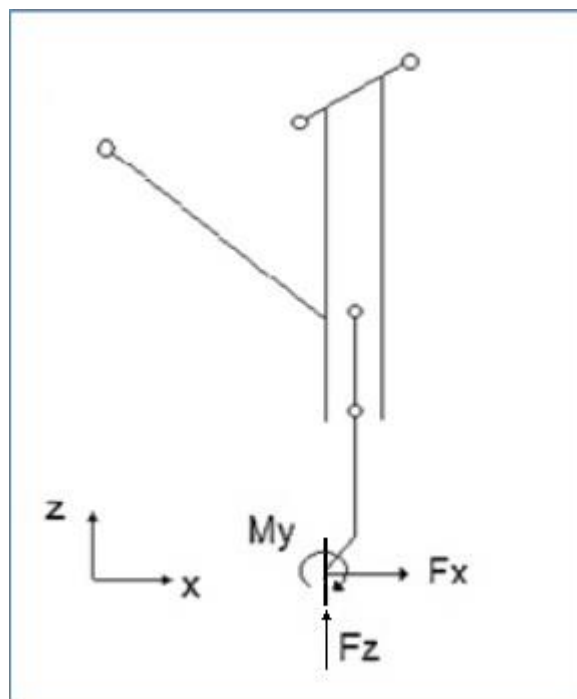
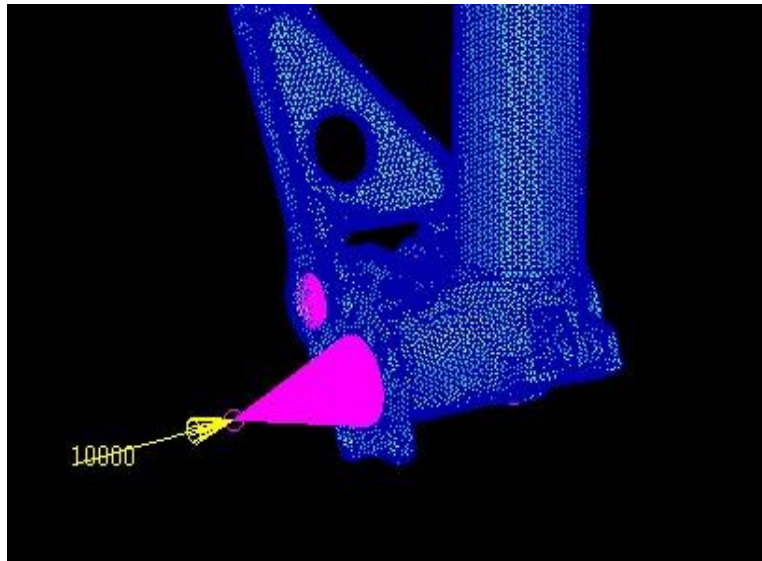


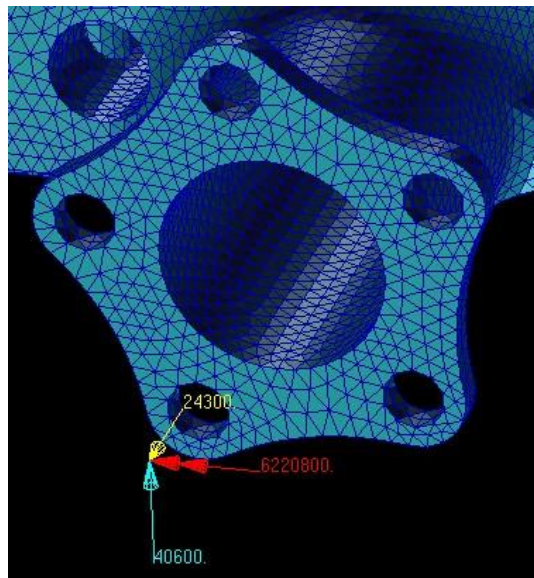
Figura 44 - 2pt Braked Roll



Le figure seguenti riportano tre condizioni di carico: nella figura sottostante si vede una forza positiva  $F_y$  di 10KN per la condizione di rigidezza LC12, mentre le due figure più in basso mostrano la condizione di resistenza 2pt drift landing RH, e la condizione di resistenza 2pt braked roll. (componenti rosse in x, gialle in y, azzurre in z).



**Figura 45 - Carichi Rigidezza: LC 12 SAT 10**



**Figura 46 - Carichi Resistenza: LC 2pt Drift Landing RH**

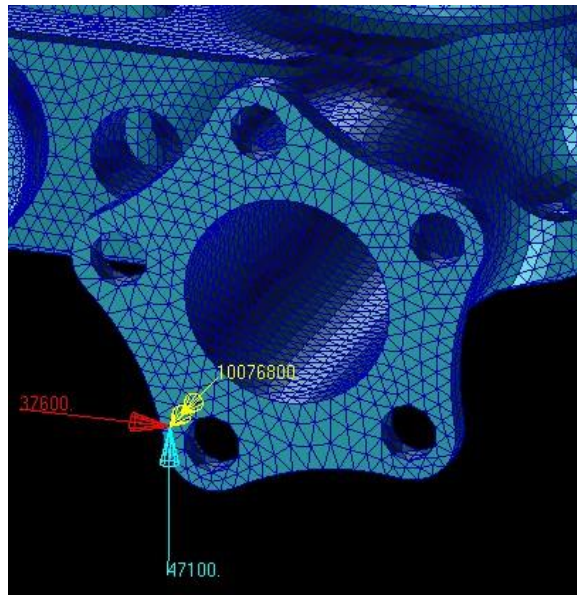


Figura 47 - Carichi Resistenza: LC 2pt Braked roll

Inoltre, dato che non si ha a disposizione la curva di schiacciamento dell'ammortizzatore, è stato necessario esprimere un valore di rigidezza medio da dare all'elemento CELAS di contatto tra main fitting e sliding tube. Per far questo è stato creato un grafico con i valori di rigidezza per le quattro condizioni di carico di resistenza:

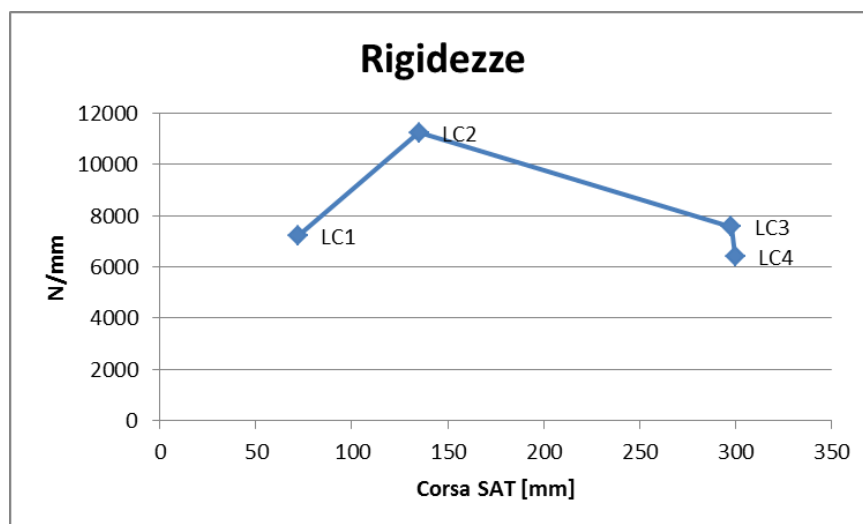


Figura 48 - Diagramma Rigidezze

Come valore medio tra i quattro casi è stato trovato un valore di 8110N/mm. Per essere conservativi è stata data alla CELAS un valore più alto pari a 10000N/mm.

Oltre all'applicazione dei carichi statici nel modello del MLG, per ciascuna condizione di prova, è stato assegnato un carico di pressurizzazione alla superficie interna dell'ammortizzatore (SA) pari al valore applicato durante le prove:

- prove di rigidezza 1.45 Mpa
- prove di resistenza 1.00 Mpa

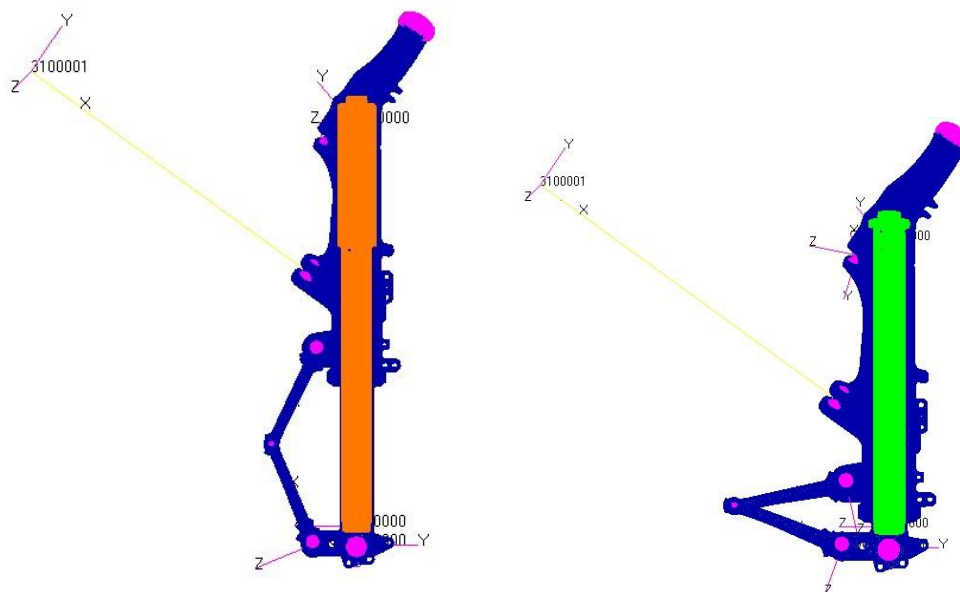


Figura 49 - Pressurizzazione SAT 10 e SAT 350

## 4 CONFRONTO DEI RISULTATI (RIGIDEZZA)

### 4.1 CORRELAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI

Le tabelle riportano le dodici condizioni di rigidezza e le otto posizioni alle quali sono stati misurati gli spostamenti.

<b>LC n°</b>	<b>Test ID</b>	<b>Fx [N]</b>	<b>Fy [N]</b>	<b>SAT [mm]</b>
1	0.2	0	-10000	10
2	0.3	0	-20000	350
3	0.4	0	-15000	180
4	0.5	25000	0	180
5	0.6	25000	0	350
6	0.7	20000	0	10
7	0.8	-20000	0	10
8	0.9	-30000	0	180
9	0.10	-35000	0	350
10	0.11	0	20000	350
11	0.12	0	15000	180
12	0.13	0	10000	10

**Tab. 29 - Condizioni di Rigidezza**

Per le tre corse dell'ammortizzatore (SAT) sono applicate forze longitudinali  $F_x$  e laterali  $F_y$  sia esse positive che negative.



<b>LVDT n°</b>	<b>Posizione</b>	<b>Nodo FEM</b>
1	ST-WA	5600112
2	WA	5300004
3	DB-fusol.	4000001
4	Pintle pin sx	1300016
5	Pintle pin dx	1300003
6	UTL-MF	1217496
7	LTL-ST	3232124
8	MF-DB	1217497

**Tab. 30 - Posizione LVDT**

Nelle successive tabelle sono riportate le risultanti degli spostamenti degli otto punti del FEM e delle prove. I grafici seguenti mettono a confronto i risultati ottenuti dall'analisi FEM con quelli ottenuti dalle prove sperimentali.



SPOST. FEM [mm]	LOAD CASE											
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9	LC10	LC11	LC12
1	14.10	8.88	12.09	8.15	3.64	14.63	14.69	9.78	4.95	8.99	12.20	14.16
2	15.16	9.70	13.16	15.18	8.70	27.69	27.46	17.99	11.87	10.28	13.74	15.65
3 (*)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 (*)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 (*)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4.52	5.79	5.50	2.48	1.91	2.58	2.53	2.92	2.60	5.81	5.52	4.53
7	12.78	7.97	11.07	8.96	4.08	15.99	15.63	10.29	5.07	8.09	11.19	12.87
8	2.33	3.10	2.91	1.36	1.19	1.22	1.23	1.63	1.66	3.11	2.92	2.33

Tab. 31 - Condizioni di Rigidezza – Spostamenti FEM

Nota (\*): gli spostamenti 3-4-5 sono nulli in quanto punti di vincolo

SPOST. TEST [mm]	LOAD CASE											
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9	LC10	LC11	LC12
1	14.50	10.80	14.00	9.66	4.67	14.95	13.07	9.05	5.31	10.46	11.25	12.90
2	18.29	11.41	17.04	19.99	12.66	28.86	26.04	20.38	15.52	11.52	14.24	14.76
3	0.10	0.14	0.30	0.62	0.64	0.55	1.22	1.34	1.26	0.37	0.10	0.14
4	0.30	0.41	0.30	0.30	0.41	0.28	0.83	0.95	0.59	0.32	0.22	0.22
5	0.44	0.65	0.78	0.00	0.32	0.14	0.71	0.62	0.61	0.78	0.57	0.42
6	5.38	7.34	7.12	3.51	2.86	3.41	2.25	2.69	3.14	7.04	6.40	4.99
7	14.41	10.70	13.81	9.78	4.76	15.17	13.17	9.15	5.41	10.36	11.15	12.81
8	2.96	4.22	4.12	1.99	1.89	1.75	1.15	1.44	2.17	3.96	3.61	2.79

Tab. 32 - Condizioni di Rigidezza – Spostamenti TEST

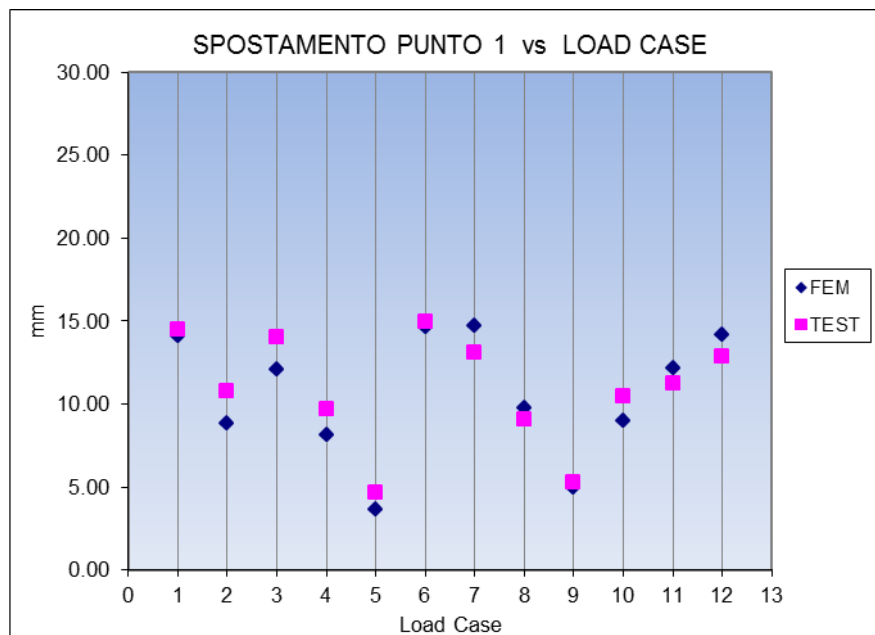


Figura 50 - Spostamento Punto 1 vs Load Case



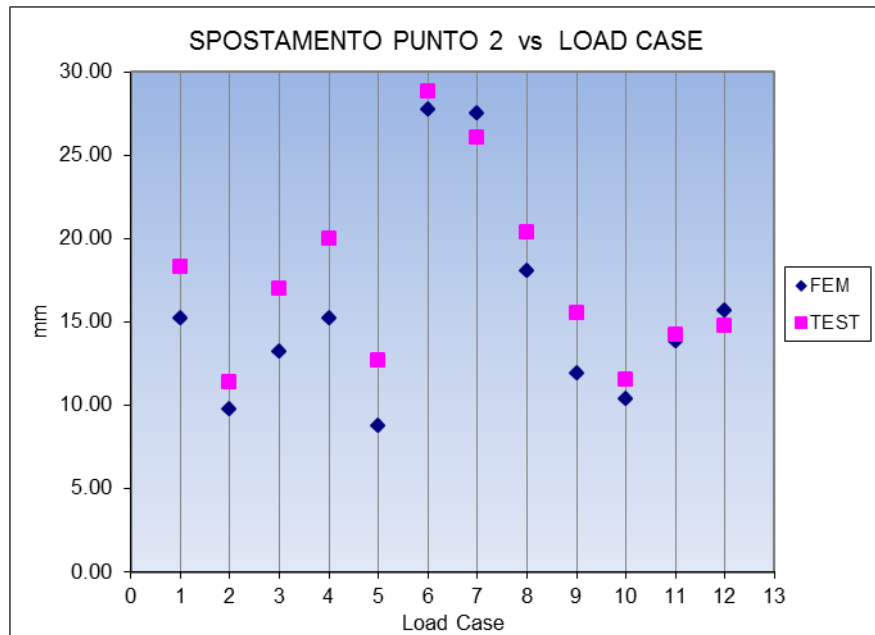


Figura 51 - Spostamento Punto 2 vs Load Case

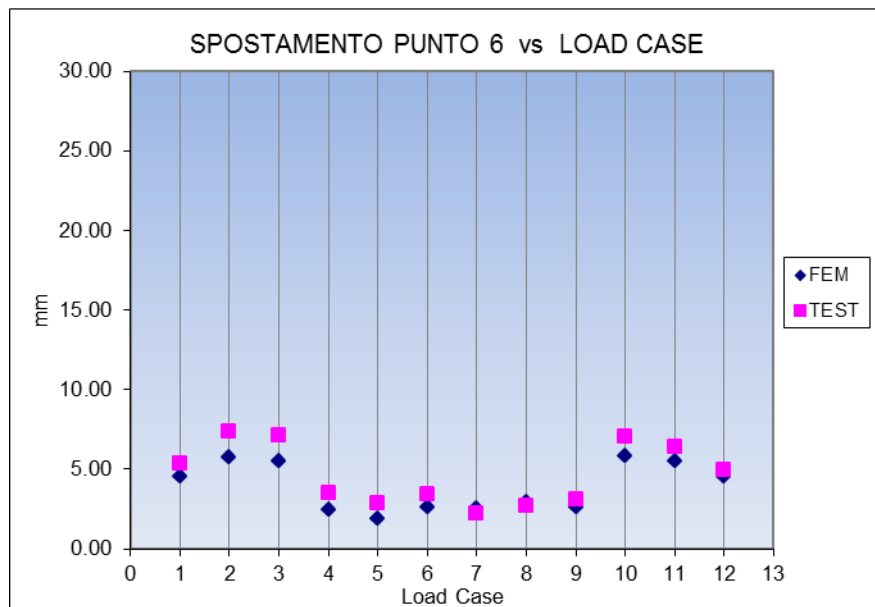
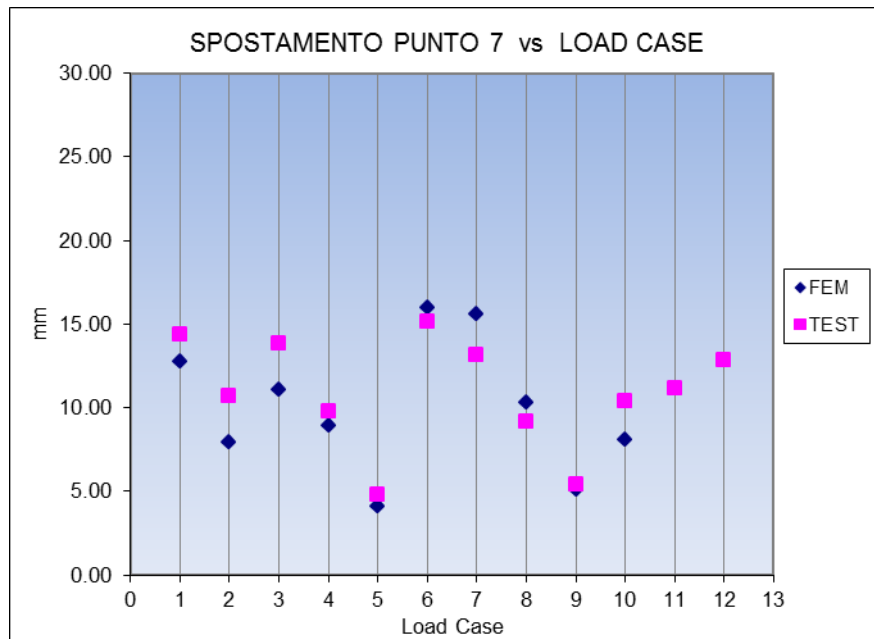
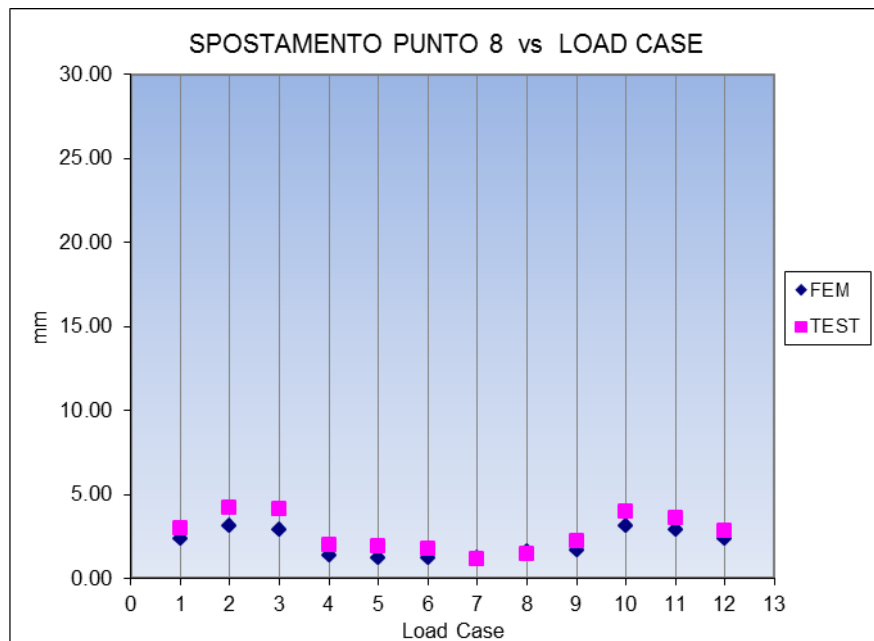


Figura 52 - Spostamento Punto 6 vs Load Case



**Figura 53 - Spostamento Punto 7 vs Load Case**



**Figura 54 - Spostamento Punto 8 vs Load Case**

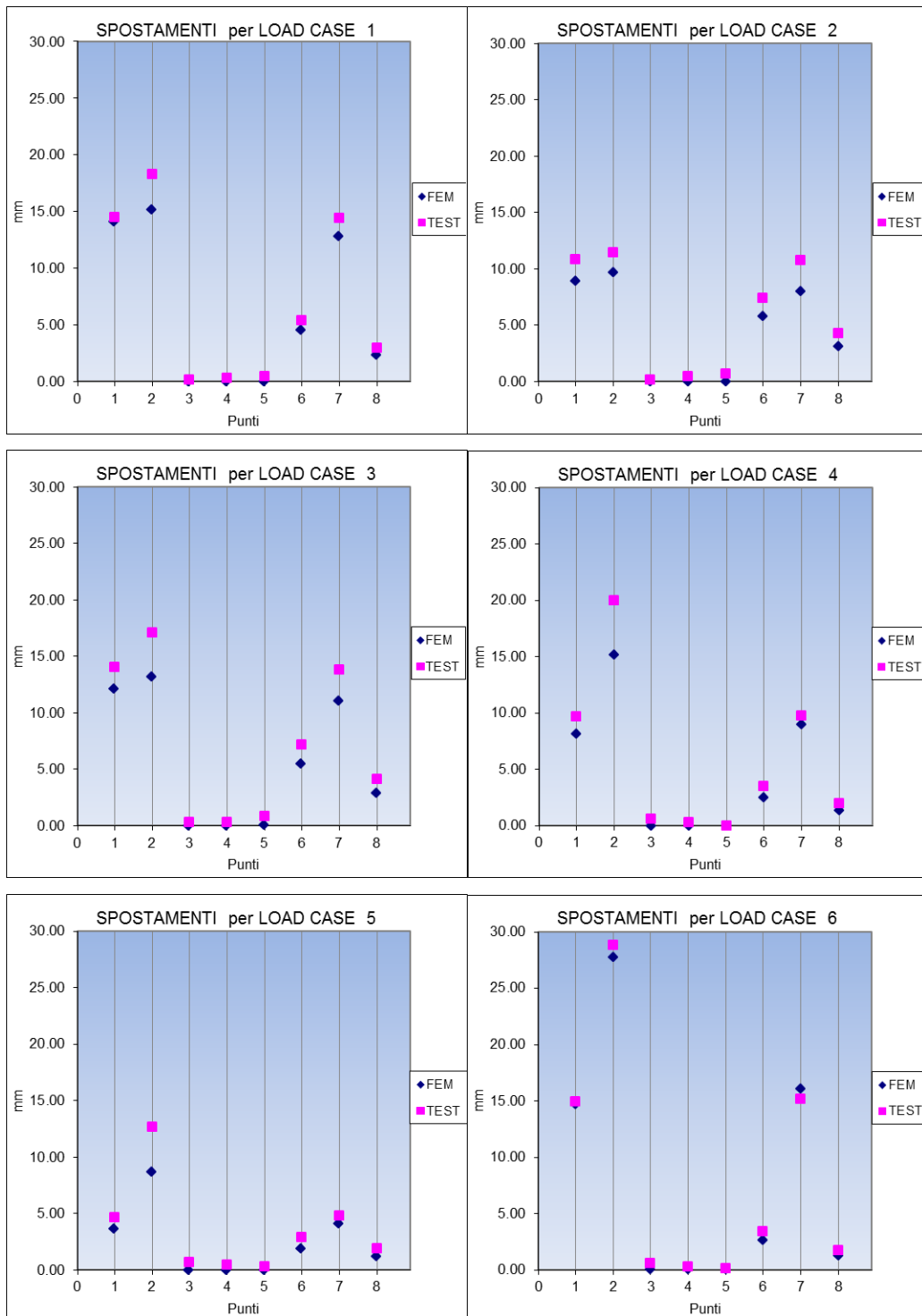


Figura 55 - Spostamento Punti 1-8 vs Load Case 1-6

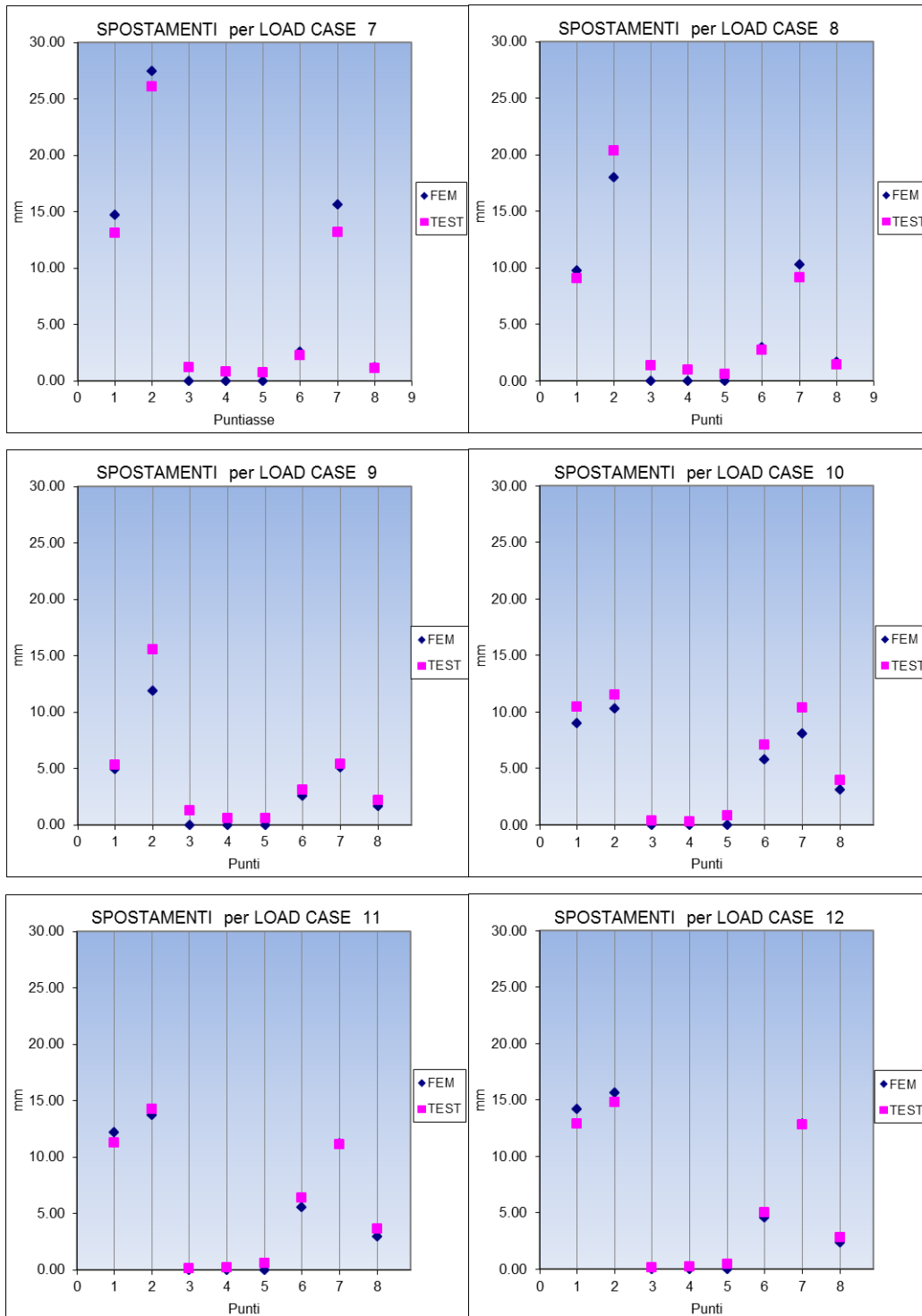


Figura 56 - Spostamento Punti 1-8 vs Load Case 7-12

Il modello FEM è leggermente più rigido del modello sperimentale dato che i valori numerici nella maggioranza dei casi sono risultati inferiori a quelli misurati in prova.

Lo spostamento 2, ovvero quello dove è caricato il MLG, è quello massimo sia per la prova sperimentale che per il modello numerico.

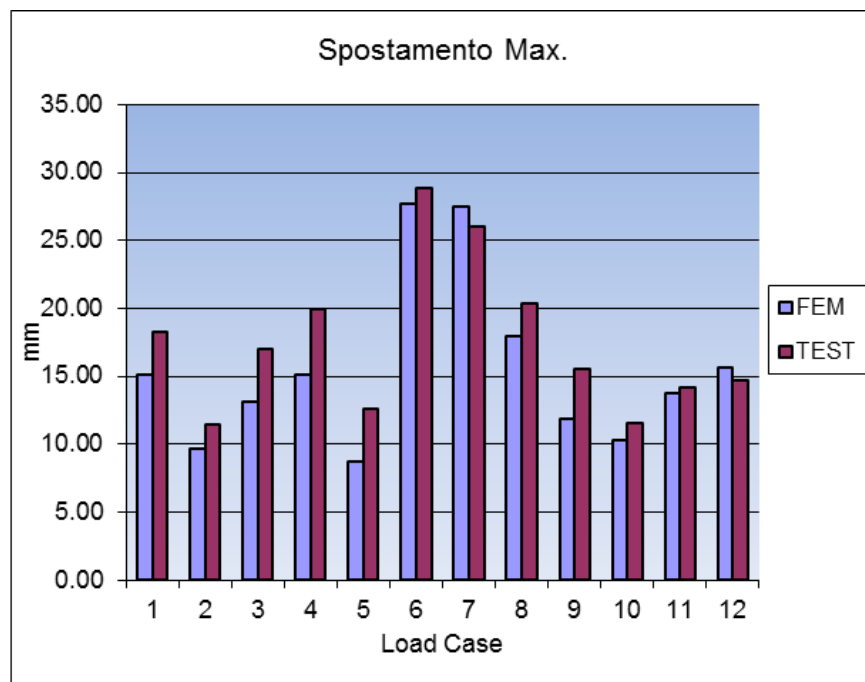


Figura 57 - Spostamento Max. vs Load Case 1-12

L'errore percentuale è stato calcolato in questo modo:

$$E\% = \left| \frac{Spost. FEM_{i-esimo} - Spost. TEST_{i-esimo}}{Spost. TEST_{i-esimo}} \right|$$

In seguito è stata calcolata la media percentuale per le singole condizioni di carico e la relativa media percentuale totale.

E% Spost.	LOAD CASE											
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9	LC10	LC11	LC12
<b>Punto 1</b>	2.8	17.8	13.7	15.7	22.0	2.2	12.3	8.0	6.7	14.1	8.4	9.8
<b>Punto 2</b>	17.1	15.0	22.8	24.0	31.3	4.0	5.4	11.8	23.5	10.8	3.5	6.1
<b>Punto 6</b>	15.9	21.1	22.8	29.3	33.2	24.2	12.6	8.3	17.1	17.6	13.7	9.2
<b>Punto 7</b>	11.3	25.5	19.8	8.4	14.4	5.4	18.7	12.5	6.3	22.0	0.4	0.5
<b>Punto 8</b>	21.4	26.5	29.3	31.6	37.1	30.6	6.3	13.9	23.6	21.5	19.0	16.5
<b>Media E%<math>\times</math> LC</b>	13.7	21.2	21.7	21.8	27.6	13.3	11.1	10.9	15.4	17.2	9.0	8.4
<b>Media Tot. E%</b>	15.9											

**Tab. 33 - Condizioni di Rigidezza – Errore Percentuale Spostamenti**

Sono stati considerati anche gli spostamenti del punto 6 e del punto 8 che, essendo molto bassi, causano errori in percentuale superiori, che fanno alzare la media totale sopra il 15%. Senza considerare questi due punti la media totale scende al 12%. Dato che il limite che ci siamo prefissi è un valore del 15% si può dire che il modello FEM è rappresentativo del reale comportamento del MLG.



## 5 CONFRONTO DEI RISULTATI (RESISTENZA)

### 5.1 CORRELAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI

Le tabelle riportano le quattro condizioni di resistenza analizzate:

LC n°	DL [N]	SL [N]	VL [N]	SAT nominale [mm]	SAT iniziale [mm]	SAT 101% del carico [mm]	$\Delta$ SAT [mm]	RR [mm]
1	49000	-7800	50400	72	63.5	70.35	6.85	273
2	-45600	-600	68600	135	127	132.98	5.98	262
3	0	-24300	40600	298	290	294.9	4.9	256
4	37600	0	47100	300	291	298.15	7.15	268

Tab. 34 - Condizioni di Resistenza

Per ciascuna condizione sono riportate oltre le quindici posizioni in cui sono stati misurati gli spostamenti in prova (descritti nelle prove sperimentali di resistenza), i corrispondenti nodi e le corrispondenti direzioni degli spostamenti del modello numerico con i relativi risultati.



LC1: 2pt_spin_up		SAT 72 [mm]		Ris. FEM	Ris. EXP
LVDT n°	Posizione	Nodo FEM	CID FEM	Spost. [mm]	Spost. [mm]
1	DB/STR_bolt	4000001	Z - 3100001	0.00	-0.35
2	DB/APX_bolt	4000110	Z - 3100001	3.67	3.79
3	DB/MF_bolt_DB_ax	1217497	Z - 3100001	5.17	6.73
4	DB/MF_bolt_bolt_ax	1217497	Y - 3100001	-4.22	-5.29
5	RA/MF_bolt	1600005	X - 999999	0.58	-0.04
6	TL/MF_bolt_X	1217496	X - 0	5.97	7.19
7	TL/ST_bolt_X	3232124	X - 0	30.77	31.52
8	WA_centre_X	5300004	X - 0	46.81	51.29
9	Wheel_centre_Y	5300004	Y - 0	-31.24	-32.93
10	MF_bottom_Y	1600006	Y - 0	-14.44	-16.08
11	Wheel_centre_Z	5300004	Z - 0	22.79	34.70
12	ST_centre_Z	5600012	Z - 0	9.69	14.31
13	SAT	1600006 - 5600112	X - 740000	4.47	6.85
14	MF/TL_upper_bolt_Y	1217496	Y - 820000	-12.01	-14.49
15	TL_apex_Y	3232122	Y - 820000	-25.25	-28.55

Tab. 35 - Condizione LC1 – 2pt Spin Up

LC2: 2pt_spring_back		SAT 135 [mm]		Ris. FEM	Ris. EXP
LVDT n°	Posizione	Nodo FEM	CID FEM	Spost. [mm]	Spost. [mm]
1	DB/STR_bolt	4000001	Z - 3100001	0.00	0.68
2	DB/APX_bolt	4000110	Z - 3100001	2.94	5.08
3	DB/MF_bolt_DB_ax	1217497	Z - 3100001	4.27	6.25
4	DB/MF_bolt_bolt_ax	1217497	Y - 3100001	-2.41	-3.69
5	RA/MF_bolt	1600005	X - 999999	0.89	0.24
6	TL/MF_bolt_X	1217496	X - 0	-4.29	-3.94
7	TL/ST_bolt_X	3232124	X - 0	-17.70	-13.95
8	WA_centre_X	5300004	X - 0	-35.66	-36.79
9	Wheel_centre_Y	5300004	Y - 0	-34.90	-39.10
10	MF_bottom_Y	1600006	Y - 0	-15.18	-19.67
11	Wheel_centre_Z	5300004	Z - 0	27.07	41.90
12	ST_centre_Z	5600012	Z - 0	11.71	15.85
13	SAT	1600006 - 5600112	X - 740000	6.58	5.98
14	MF/TL_upper_bolt_Y	1217496	Y - 820000	-10.39	-13.47
15	TL_apex_Y	3232122	Y - 820000	-4.48	-6.19

Tab. 36 - Condizione LC2 – 2pt Spring Back

LC3: 2pt_drift_landing		SAT 298 [mm]		Ris. FEM	Ris. EXP
LVDT n°	Posizione	Nodo FEM	CID FEM	Spost. [mm]	Spost. [mm]
1	DB/STR_bolt	4000001	Z - 3100001	0.00	0.62
2	DB/APX_bolt	4000110	Z - 3100001	4.76	5.75
3	DB/MF_bolt_DB_ax	1217497	Z - 3100001	6.80	9.18
4	DB/MF_bolt_bolt_ax	1217497	Y - 3100001	-4.66	-6.05
5	RA/MF_bolt	1600005	X - 999999	0.85	-0.01
6	TL/MF_bolt_X	1217496	X - 0	0.68	0.83
7	TL/ST_bolt_X	3232124	X - 0	1.31	1.78
8	WA_centre_X	5300004	X - 0	-2.97	-2.56
9	Wheel_centre_Y	5300004	Y - 0	-30.03	-31.45
10	MF_bottom_Y	1600006	Y - 0	-20.60	-23.54
11	Wheel_centre_Z	5300004	Z - 0	23.27	32.31
12	ST_centre_Z	5600012	Z - 0	8.60	10.72
13	SAT	1600006 - 5600112	X - 740000	3.24	4.90
14	MF/TL_upper_bolt_Y	1217496	Y - 820000	-15.65	-18.68
15	TL_apex_Y	3232122	Y - 820000	-13.91	-16.64

Tab. 37 - Condizione LC3 – 2pt Drift Landing RH

LC4: 2pt_braked_roll		SAT 300 [mm]		Ris. FEM	Ris. EXP
LVDT n°	posizione	Nodo FEM	CID FEM	Spost. Z [mm]	Spost. [mm]
1	DB/STR_bolt	4000001	Z - 3100001	0.00	-0.28
2	DB/APX_bolt	4000110	Z - 3100001	2.12	1.92
3	DB/MF_bolt_DB_ax	1217497	Z - 3100001	2.98	3.66
4	DB/MF_bolt_bolt_ax	1217497	Y - 3100001	-2.74	-3.30
5	RA/MF_bolt	1600005	X - 999999	0.41	0.07
6	TL/MF_bolt_X	1217496	X - 0	4.38	5.16
7	TL/ST_bolt_X	3232124	X - 0	12.23	11.91
8	WA_centre_X	5300004	X - 0	17.58	20.80
9	Wheel_centre_Y	5300004	Y - 0	-12.06	-11.82
10	MF_bottom_Y	1600006	Y - 0	-8.20	-8.83
11	Wheel_centre_Z	5300004	Z - 0	13.87	18.21
12	ST_centre_Z	5600012	Z - 0	6.77	7.46
13	SAT	1600006 - 5600112	X - 740000	4.13	7.15
14	MF/TL_upper_bolt_Y	1217496	Y - 820000	-6.96	-8.18
15	TL_apex_Y	3232122	Y - 820000	-11.44	-13.54

Tab. 38 - Condizione LC4 – 2pt Braked Roll

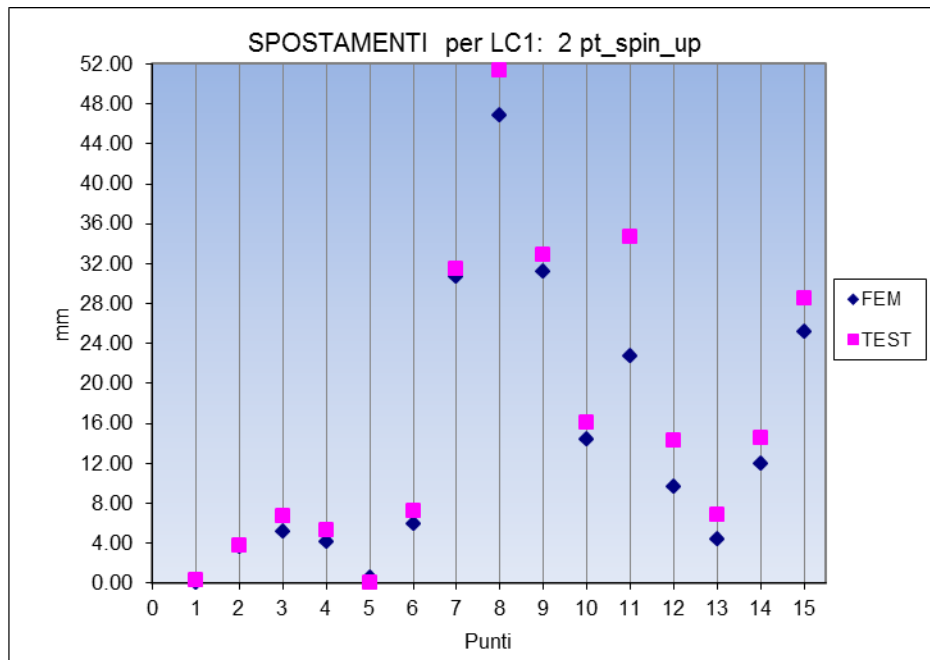


Figura 58 - Spostamenti LC1 - 2pt Spin Up

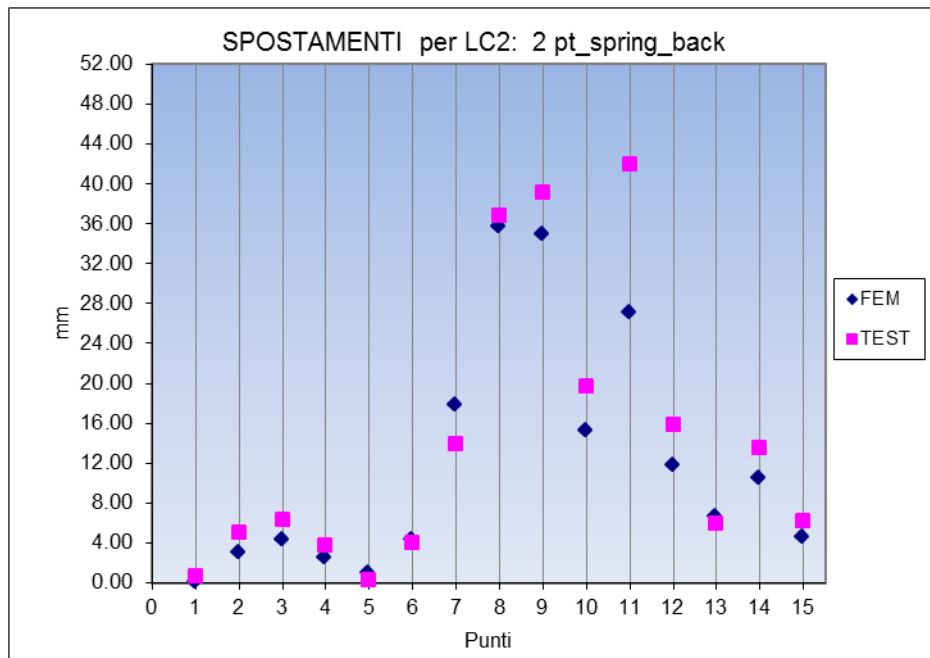


Figura 59 - Spostamenti LC2 - 2pt Spring Back

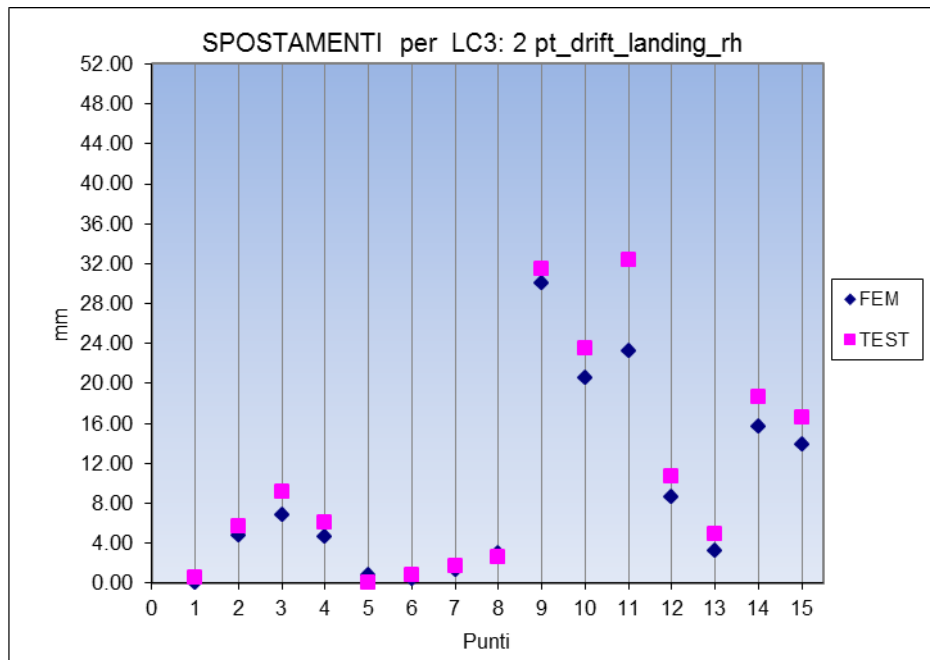


Figura 60 - Spostamenti LC3 - 2pt Drift Landing RH

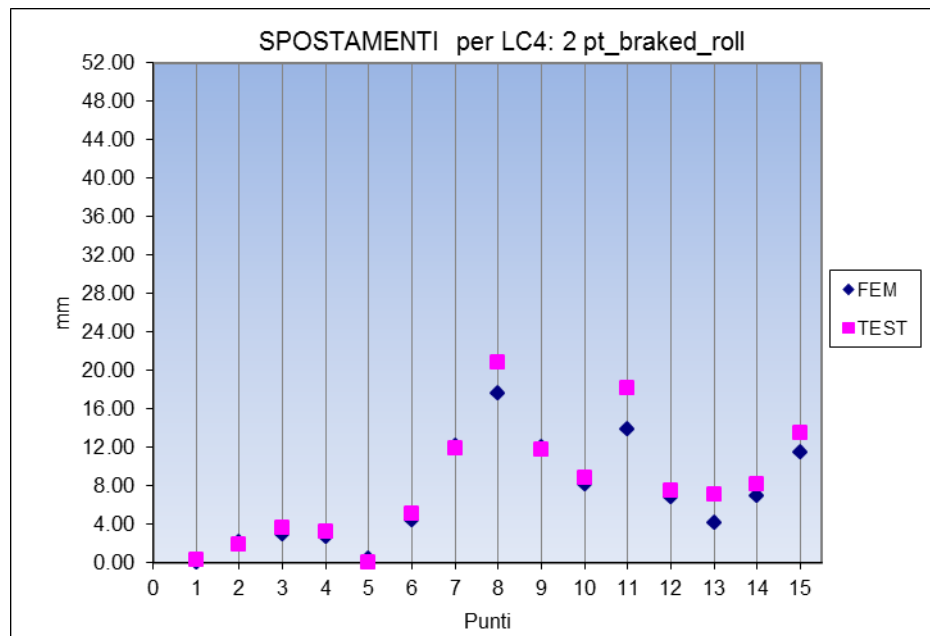


Figura 61 - Spostamenti LC4 - 2pt Braked Roll



Lo spostamento del punto 8 è quello massimo per le prove sperimentali LC1 e LC4, invece lo spostamento del punto 11 è quello massimo per le prove sperimentali LC2 e LC3.

Dai grafici si vede complessivamente che gli spostamenti dei punti del modello seguono quelli misurati in prova. Fa eccezione il punto 11, che assieme al punto 12 e 13 è misurato in direzione verticale. Questo è dovuto al fatto che l'analisi è di tipo statico, senza variazioni di pressione nella camera dell'olio all'interno dell'ammortizzatore; il modello non risente dello schiacciamento in funzione del carico applicato.

La tabella mostra l'errore percentuale (calcolato come visto prima), la media percentuale degli errori per LC e la media percentuale totale:

E%Spost.	LOAD CASE			
	LC1	LC2	LC3	LC4
<b>Punto 3</b>	23.1	31.7	25.9	18.7
<b>Punto 4</b>	20.2	34.6	23.0	16.8
<b>Punto 6</b>	17.0	9.0	18.1	15.2
<b>Punto 7</b>	2.4	26.9	26.5	2.7
<b>Punto 8</b>	8.7	3.1	16.1	15.5
<b>Punto 9</b>	5.1	10.8	4.5	2.1
<b>Punto 10</b>	10.2	22.8	12.5	7.1
<b>Punto 11</b>	34.3	35.4	28.0	23.8
<b>Punto 12</b>	32.3	26.1	19.7	9.3
<b>Punto 13</b>	34.7	10.0	33.9	42.2
<b>Punto 14</b>	17.1	22.9	16.2	14.9
<b>Punto 15</b>	11.5	27.6	16.4	15.5
<b>Media E% x LC</b>	18.1	21.7	20.1	15.3
<b>Media Tot. E%</b>	18.8			

**Tab. 39 - Condizioni di Resistenza – Errore Percentuale Spostamenti**

Lo spostamento del punto 1 non è considerato in quanto vincolato, gli spostamenti dei punti 2-5 non sono oggetto di analisi. Per completezza sono riportati i valori delle medie percentuali di tutti i punti considerati. Oltre al fatto citato prima, riguardante la non precisione nell'individuazione degli spostamenti del modello in direzione verticale, bisogna considerare che, essendo alcuni spostamenti estremamente ridotti, questi danno un errore percentuale maggiore e quindi fanno alzare la media totale sopra il 15%.

Tenendo conto di questi due fattori il modello FEM è comunque con una buona approssimazione rappresentativo del reale comportamento del MLG.



## 5.2 CORRELAZIONE DELLE DEFORMAZIONI

Le misurazioni fatte in prova sono state confrontate con i valori di deformazione del modello numerico. Di seguito sono indicate le posizioni nelle quali sono stati posti i cinque estensimetri:

<b>Estensimetri n°</b>	<b>Posizione</b>
<b>1</b>	Torque Link - at middle center
<b>2</b>	Main Fitting - near upper Pintle Pin
<b>3</b>	Main Fitting - at a cylindrical part of housing
<b>4</b>	Main Fitting - fwd rib
<b>5</b>	Sliding Tube - Radius to wheel axle

Tab. 40 - Posizione Estensimetri

Le tabelle successive riportano i valori di deformazione sperimentali e numerici, gli errori percentuali e le relative medie per ogni condizione di carico.

<b>DEFORM. FEM. [µm/m]</b>	<b>LOAD CASE</b>			
	<b>LC1</b>	<b>LC2</b>	<b>LC3</b>	<b>LC4</b>
<b>Punto 1</b>	-2900	2360	30	-1400
<b>Punto 2</b>	-3170	-1310	-2770	-2390
<b>Punto 3</b>	-4010	-1840	-3650	-2350
<b>Punto 4</b>	3170	1790	3750	1870
<b>Punto 5</b>	470	-400	-10	190

Tab. 41 - Condizioni di Resistenza – Deformazioni FEM

DEFORM. TEST. [µm/m]	LOAD CASE			
	LC1	LC2	LC3	LC4
Punto 1	-3294	2798	-51	-1657
Punto 2	-2762	-1389	-2390	-2014
Punto 3	-4047	-2089	-3654	-2497
Punto 4	3504	2170	3779	2036
Punto 5	487	-436	20	253

Tab. 42 - Condizioni di Resistenza – Deformazioni TEST

Anche per le deformazioni, nello stesso modo degli spostamenti è stato calcolato l'errore percentuale.

E% DEFORM.	LOAD CASE			
	LC1	LC2	LC3	LC4
Punto 1	12.0	15.7	*	15.5
Punto 2	14.8	5.7	15.9	18.7
Punto 3	0.9	11.9	0.1	5.9
Punto 4	9.5	17.5	0.8	8.2
Punto 5	3.5	8.3	*	*
Media E% x LC	8.1	11.8	5.6	12.1
Media E% Totale	9.7			

\*non considerati in quanto le deformazioni sono estremamente ridotte

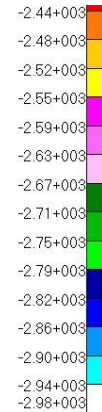
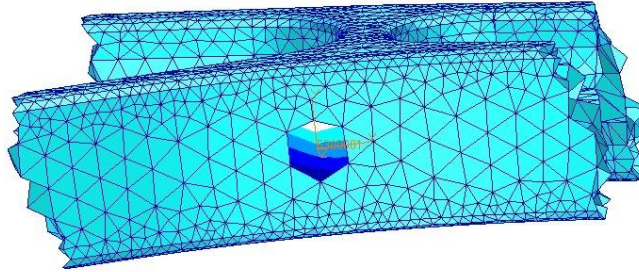
Tab. 43 - Condizioni di Resistenza – Errore Percentuale Deformazioni

Dal confronto si vede che c'è una buona correlazione delle deformazioni dei punti misurati in prova.

Le immagini successive illustrano le cinque deformazioni del modello per le quattro condizioni di prova:

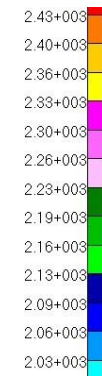
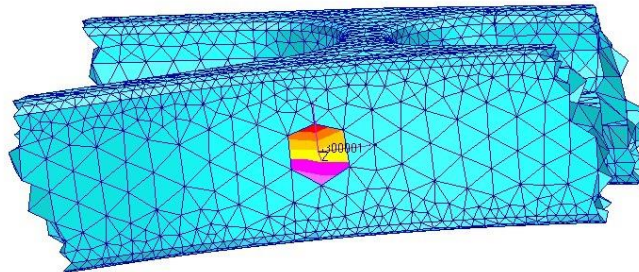
Fringe: SC1:MLG\_72\_2PT\_SPIN\_UP\_LIMIT, A1:Static Subcase, Strain Tensor, , X Component, (NON-LAYERED)

Strain 1  
LC 1



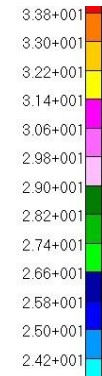
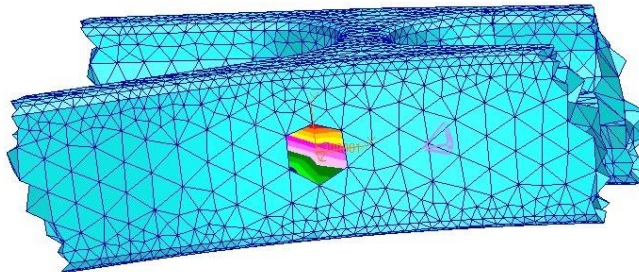
Fringe: SC1:MLG\_135\_2PT\_SPRING\_BACK\_LIMIT, A2:Static Subcase, Strain Tensor, , X Component, (NON-LAYERED)

Strain 1  
LC 2



Fringe: SC1:MLG\_298\_2PT\_DRIFT\_LANDING\_RIGHT\_LIMIT, A3:Static Subcase, Strain Tensor, , X Component, (NON-LAYERED)

Strain 1  
LC 3



Fringe: SC1:MLG\_300\_2PT\_BRAKED\_ROLL\_LIMIT, A4:Static Subcase, Strain Tensor, , X Component, (NON-LAYERED)

Strain 1  
LC 4

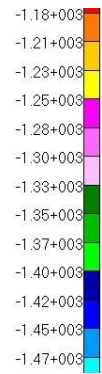
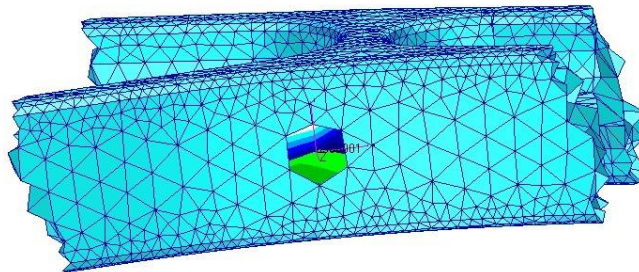
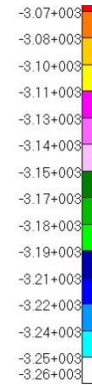
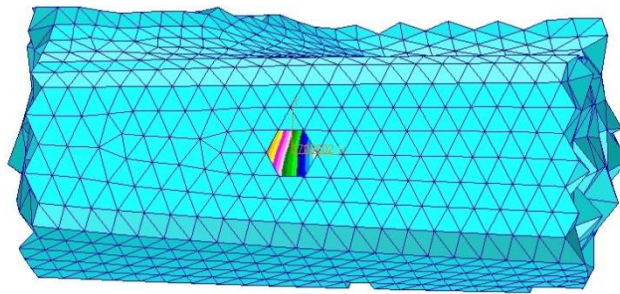


Figura 62 - Deformazioni del Punto 1 vs Load Cases

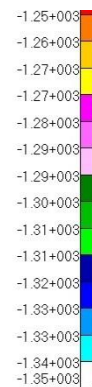
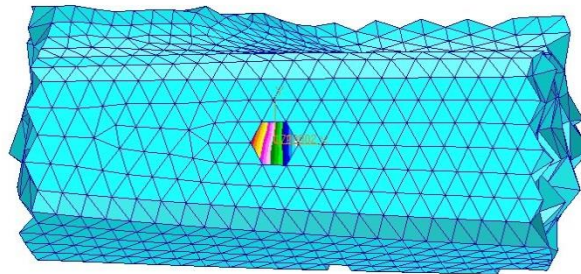
Fringe: SC1:MLG\_72\_2PT\_SPIN\_UP\_LIMIT, A1:Static Subcase, Strain Tensor, .X Component, (NON-LAYERED)

**STRAIN 2  
LC 1**



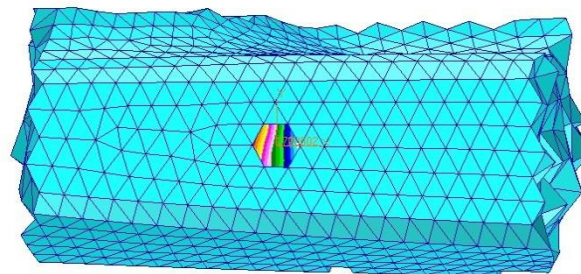
Fringe: SC1:MLG\_135\_2PT\_SPRING\_BACK\_LIMIT, A2:Static Subcase, Strain Tensor, .X Component, (NON-LAYERED)

**STRAIN 2  
LC 2**



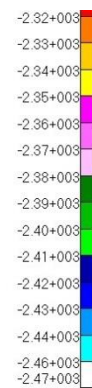
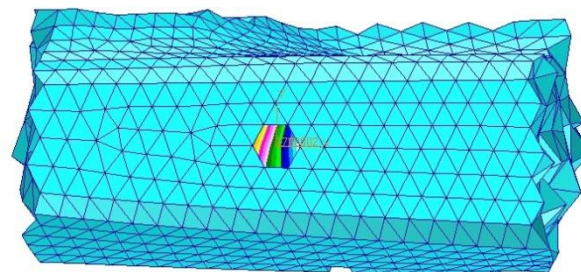
Fringe: SC1:MLG\_298\_2PT\_DRIFT\_LANDING\_RIGHT\_LIMIT, A3:Static Subcase, Strain Tensor, .X Component, (NON-LAYERED)

**STRAIN 2  
LC 3**



Fringe: SC1:MLG\_300\_2PT\_BRAKED\_ROLL\_LIMIT, A4:Static Subcase, Strain Tensor, .X Component, (NON-LAYERED)

**STRAIN 2  
LC 4**



**Figura 63 - Deformazioni del Punto 2 vs Load Cases**



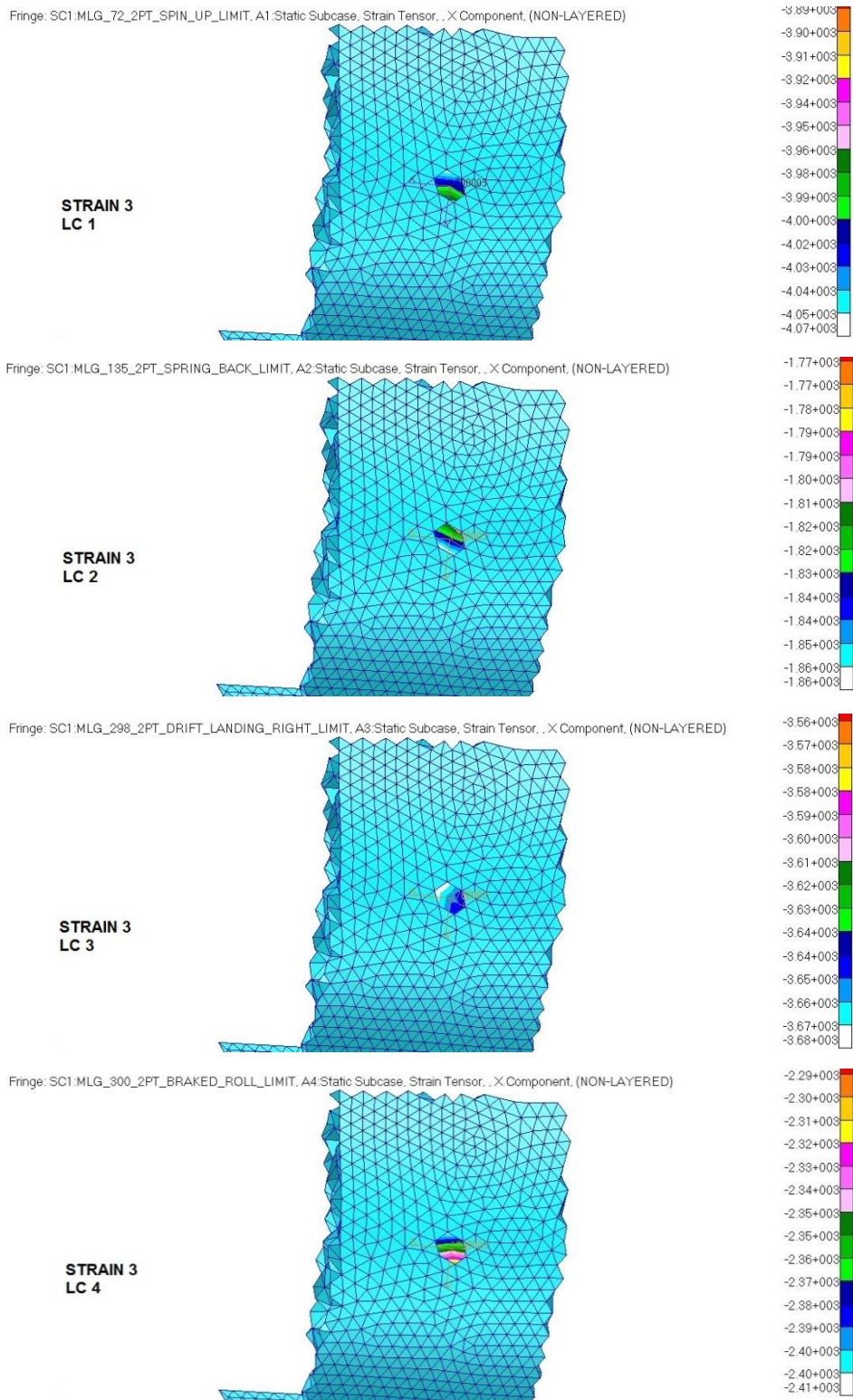


Figura 64 - Deformazioni del Punto 3 vs Load Cases

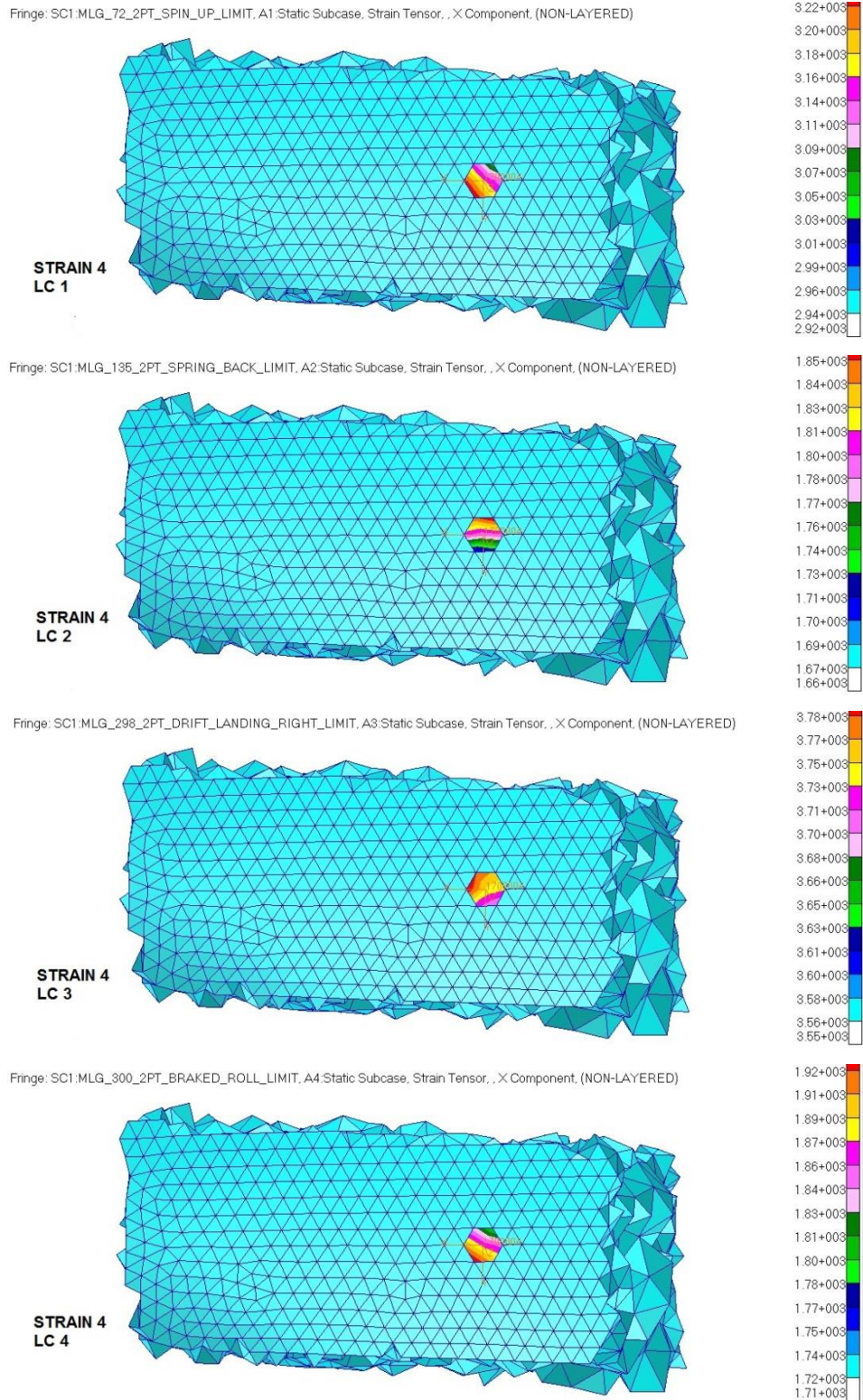


Figura 65 - Deformazioni del Punto 4 vs Load Cases



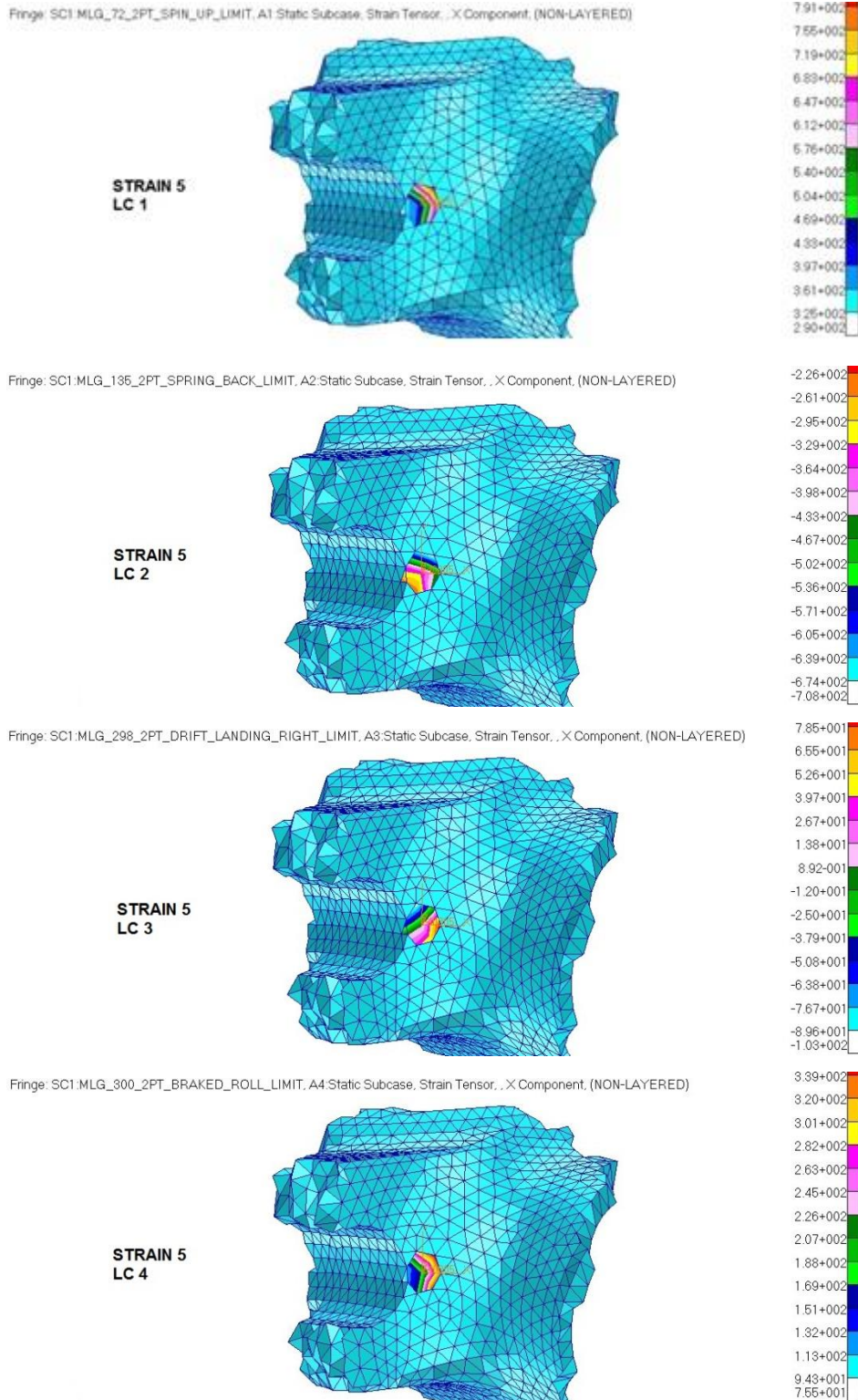


Figura 66 - Deformazioni del Punto 5 vs Load Cases



## 6 CONCLUSIONI

I risultati hanno mostrato una buona correlazione degli spostamenti e delle deformazioni misurati in prova rispetto a quelli ricavati dal modello numerico dato che si sono rivelati minori del prefissato limite del 15%. Il modello ad elementi finiti è perciò rappresentativo del reale comportamento del MLG.

Va tenuto in considerazione il fatto che i maggiori scostamenti rilevati potrebbero essere relativi al fatto che sono state adottate delle approssimazioni nell'introduzione dei carichi e nella rappresentazione dei vincoli. Si potrebbe ulteriormente sviluppare il lavoro integrando il modello con la presenza del wheel axle e sostituire i contatti realizzati attualmente con MPC con elementi gap (e analisi non lineare).

Credo che il tempo trascorso in azienda abbia contribuito molto alla mia formazione, sia dal punto di vista delle informazioni acquisite che dal lato personale, per aver avuto il piacere di conoscere e collaborare con persone capaci ed esperte nel proprio mestiere.



## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] documento di LLI “2901QR0006\_Issue01\_QTR\_Strength Test”
- [2] documento di LLI “2901QP0004\_Issue02\_QTP\_Strength Test”
- [3] documento di LLI “B\_TA\_4143\_01\_MLG\_Drop\_tests\_report”
- [4] documento di LLI “2900GD0001 MLG Interface Control Document”
- [5] documento di LLI “2901QD0007\_Issue04\_MLG\_Stress\_Report”
- [6] sito AAEM, scheda M-346
- [7] FAA, Metallic Material Properties MMPDS-03, Vol I, 2006.
- [8] N.S.Currey, Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices, AIAA Education Series, Przemieniecki Series Editor-in-Chief, 1988.



## **8 APPENDICE**

### **8.1 FILE DI LANCIO**

Per la preparazione e l'analisi del modello sono stati creati diversi file di lancio, ciascuno rappresentativo di ogni condizione di carico. Di seguito sono mostrati due esempi di file di lancio per una condizione di rigidezza e una condizione di resistenza e un file di lancio per l'analisi modale.



### 8.1.1 File di lancio: MLG\_10\_lc\_02.bdf

```

$ NASTRAN input file created by the MSC MSC.Nastran input file
$ Direct Text Input for Nastran System Cell Section
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Linear Static Analysis Database
SOL 101
$ Direct Text Input for Executive Control
$
CEND
ECHO = NONE
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=MLG_10_Lc_02
  SPC = 20
  LOAD = 708
  DISPLACEMENT(PLOT)=ALL
  SPCFORCES(PRINT)=ALL
  GPFORCE(PLOT)=ALL
  MPCFORCE(PLOT)=ALL
$
BEGIN BULK
PARAM POST 0
PARAM PRTMAXIM YES
PARAM K6ROT,100.
PARAM PRGPST,NO
PARAM AUTOSPC,NO
PARAM SNORM,20.
$
$$$$$ FEM MODEL $$$$$$
$
INCLUDE 'main_fitting_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'Upper_Link_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'Lower_Link_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'drag_brace_spezzato.bdf'
INCLUDE 'mpc_wheel_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_int_skin_t3.bdf'
INCLUDE 'displacements_points.bdf'
$
INCLUDE 'Coord_system_at_10.bdf'
INCLUDE 'skin_main_fitting_10_t3.bdf'
INCLUDE 'mpc_sliding_10_tet4.bdf'
INCLUDE 'pload_10.bdf'
INCLUDE 'Y_neg_tet4.bdf'
$
$ Elements and Element Properties for region : pbar.6000001
PROD 6000001 10000011.
CROD 6999999 6000001 5030352 6000001
GRID 6000001 6777. -1063.06-335.335 740000
$
$$$$$ Contact sliding/main_fitting $$$$$$
$
PELAS 6600001 1.+5
CELAS1 6600002 6600001 1300018 2 5300005 2
CELAS1 6600003 6600001 1300018 3 5300005 3
$
PELAS 6600004 1.+5
CELAS1 6600005 6600004 1300019 2 5300003 2
CELAS1 6600006 6600004 1300019 3 5300003 3
$
PELAS 6600007 1.+4
CELAS1 6600008 6600007 1300019 1 5300003 1
$
$$$$$ CONSTRAIN $$$$$$
$
SPCADD 20 10 30 40 50
$
$ Displacement Constraints of Load Set : drag_brace
SPC1 10 1234 4000001
$ Displacement Constraints of Load Set : pin
SPC1 30 23 1300003 1300016
$ Displacement Constraints of Load Set : pin_axis
SPC1 40 1 1300017
$ Displacement Constraints of Load Set : sliding
SPC1 50 234 6000001
$
$$$$$ LOADS $$$$$$
$
LOAD 708 1. 1.55 1 1.45 2 1. 3
$
FORCE 3 5300004 0 1. 0. -10000. 0.
$
ENDDATA

```

← condizione di rigidezza

← richiesta risultati

← caricamento dati MLG

← in funzione della corsa SAT 10





## 8.1.2 File di lancio: MLG\_72\_2pt\_spin\_up.bdf

```

$ NASTRAN input file created by the MSC MSC.Nastran input file
$ Direct Text Input for Nastran System Cell Section
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Linear Static Analysis Database
SOL 101
$ Direct Text Input for Executive Control
$
CEND
ECHO = NONE
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=MLG_72_2pt_spin_up_limit ← condizione di resistenza
  SPC = 20
  LOAD = 801
  DISPLACEMENT(PLOT)=ALL
  SPCFORCES(PRINT)=ALL
  GPFORCE(PLOT)=ALL
  MPCFORCE(PLOT)=ALL
  STRAIN(PLOT)=ALL ← richiesta risultati
$
BEGIN BULK
PARAM POST 0
PARAM PRITMAXIM YES
PARAM ,K6ROT,100.
PARAM ,PRGPST,NO
PARAM ,AUTOSPC,NO
PARAM ,SNORM,20.
$
$$$$$ FEM MODEL $$$$$$
$
INCLUDE 'main_fitting_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_3D_tet4.bdf' ← caricamento dati MLG
INCLUDE 'Upper_Link_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'Lower_Link_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'drag_brace_spezzato.bdf'
INCLUDE 'mpc_wheel_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_int_skin_t3.bdf'
INCLUDE 'displacements_points_mod.bdf'
$
INCLUDE 'Coord_system_at_63_5.bdf'
INCLUDE 'skin_main_fitting_72_t3.bdf' ← in funzione della corsa SAT 72
INCLUDE 'mpc_sliding_72_tet4.bdf'
INCLUDE 'pload_72_mod.bdf'
INCLUDE 'Y_neg_tet4.bdf'
$
$ Elements and Element Properties for region : pbar.6000001
PROD 6000001 10000011.
CROD 6999999 6000001 5030352 6000001
GRID 6000001 6777. -1063.06-335.335 740000
$
$$$$$ contact sliding/main_fitting $$$$$$
$
PELAS 6600001 1.+5
CELAS1 6600002 6600001 1300018 2 5300005 2
CELAS1 6600003 6600001 1300018 3 5300005 3
$
PELAS 6600004 1.+5
CELAS1 6600005 6600004 1300019 2 5300003 2
CELAS1 6600006 6600004 1300019 3 5300003 3
$
PELAS 6600007 1.+4
CELAS1 6600008 6600007 1300019 1 5300003 1
$
$$$$$ CONSTRAIN $$$$$$
$
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD 20 10 30 40 50
$
$ Displacement Constraints of Load Set : drag_brace
SPC1 10 1234 4000001
$ Displacement Constraints of Load Set : pin
SPC1 30 23 1300003 1300016
$ Displacement Constraints of Load Set : pin_axis
SPC1 40 1 1300017
$ Displacement Constraints of Load Set : sliding
SPC1 50 234 6000001
$
$$$$$ LOADS $$$$$$
$
LOAD 801 1. 1.07 1 1. 2 1. 3
$
FORCE 3 5300004 0 1. 49000.0 -7800.0 50400.0
$
ENDDATA
    
```





### 8.1.3 File di lancio: Modal\_0\_nv.bdf

```
$ NASTRAN input file created by the MSC MSC/NASTRAN input file
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Normal Modes Analysis, Database
$
SOL 103
TIME 600
$ Direct Text Input for Executive Control
CEND
SEALL = ALL
SUPER = ALL
ECHO = NONE
MAXLINES = 999999999
$
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Modale_nv ← modale non
  METHOD = 1          vincolata
  VECTOR (PLOT)=ALL
  SPCFORCES (PLOT)=ALL
$
BEGIN BULK
PARAM POST 0
PARAM NOCOMPS,-1
PARAM PRTMAXIM YES
EIGRL 1 10 0
$
$$$$$ FEM MODEL $$$$$$
$
INCLUDE 'main_fitting_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_3D_tet4.bdf' ← caricamento
INCLUDE 'Upper_Link_3D_tet4.bdf'   dati MLG
INCLUDE 'Lower_Link_3D_tet4.bdf'
INCLUDE 'mpc_wheel_tet4.bdf'
INCLUDE 'sliding_tube_int_skin_t3.bdf'
$
INCLUDE 'Coord_system_at_0.bdf'
INCLUDE 'skin_main_fitting_0_t3.bdf' ← in funzione della
INCLUDE 'mpc_sliding_0_tet4.bdf'   corsa SAT 0
INCLUDE 'Y_neg_tet4.bdf'
$
$$$$$<Contatto sliding/main_fitting>$$$$$
$
PELAS 6600001 1.+5
CELAS1 6600002 6600001 1300018 2 5300005 2
CELAS1 6600003 6600001 1300018 3 5300005 3
$
PELAS 6600004 1.+5
CELAS1 6600005 6600004 1300019 2 5300003 2
CELAS1 6600006 6600004 1300019 3 5300003 3
$
PELAS 6600007 1.+4
CELAS1 6600008 6600007 1300019 1 5300003 1
$
ENDDATA
```





















E' riportato un elenco di tutti i file di lancio e dei relativi file da caricare.

### 8.1.4 FEM\_MLG\Modal\mlg\_0:

mlg_0			
Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
Coord_system_at_0.bdf	21/11/2012 10:41	File BDF	1 KB
drag_brace_spezzato.bdf	04/04/2013 13:55	File BDF	4 KB
Lower_Link_3D_tet4.bdf	12/03/2013 16:22	File BDF	10387 KB
main_fitting_3D_tet4.bdf	07/03/2013 10:12	File BDF	66547 KB
modale_0_nv.bdf	11/06/2013 08:23	File BDF	2 KB
modale_0_vv.bdf	11/06/2013 08:24	File BDF	3 KB
mpc_sliding_0_tet4.bdf	20/12/2012 12:13	File BDF	7 KB
mpc_wheel_tet4.bdf	07/03/2013 10:17	File BDF	11 KB
skin_main_fitting_0_t3.bdf	22/04/2013 09:49	File BDF	1646 KB
sliding_tube_3D_tet4.bdf	16/04/2013 18:23	File BDF	9192 KB
sliding_tube_int_skin_t3.bdf	20/12/2012 12:18	File BDF	1492 KB
Upper_Link_3D_tet4.bdf	06/02/2013 17:04	File BDF	8789 KB
Y_neg_tet4.bdf	04/02/2013 14:28	File BDF	5 KB
Y_pos_tet4.bdf	20/12/2012 11:56	File BDF	5 KB

## 8.1.5 FEM\_MLG\Stiffness\mlg10:

Mlg\_10

Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
 Coord_system_at_10.bdf	21/11/2012 10:45	File BDF	1 KB
 displacements_points.bdf	12/04/2013 09:36	File BDF	2 KB
 drag_brace_spezzato.bdf	04/04/2013 13:55	File BDF	4 KB
 Lower_Link_3D_tet4.bdf	12/03/2013 16:22	File BDF	10387 KB
 main_fitting_3D_tet4.bdf	07/03/2013 10:12	File BDF	66547 KB
 MLG_10_Lc_02.bdf	22/04/2013 17:17	File BDF	3 KB
 MLG_10_Lc_07.bdf	22/04/2013 17:18	File BDF	3 KB
 MLG_10_Lc_08.bdf	22/04/2013 17:18	File BDF	3 KB
 MLG_10_Lc_013.bdf	22/04/2013 17:19	File BDF	3 KB
 mpc_sliding_10_tet4.bdf	20/12/2012 12:37	File BDF	7 KB
 mpc_wheel_tet4.bdf	07/03/2013 10:17	File BDF	11 KB
 pload_10.bdf	21/12/2012 14:32	File BDF	69 KB
 skin_main_fitting_10_t3.bdf	16/04/2013 17:55	File BDF	1603 KB
 sliding_tube_3D_tet4.bdf	16/04/2013 18:23	File BDF	9192 KB
 sliding_tube_int_skin_t3.bdf	20/12/2012 12:18	File BDF	1492 KB
 Upper_Link_3D_tet4.bdf	06/02/2013 17:04	File BDF	8789 KB
 Y_neg_tet4.bdf	04/02/2013 14:28	File BDF	5 KB
 Y_pos_tet4.bdf	20/12/2012 11:56	File BDF	5 KB



## 8.1.6 FEM\_MLG\Stiffness\mlg180:

Mlg_180			
Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
Coord_system_at_180.bdf	21/11/2012 10:55	File BDF	1 KB
displacements_points.bdf	12/04/2013 09:36	File BDF	2 KB
drag_brace_spezzato.bdf	04/04/2013 13:55	File BDF	4 KB
Lower_Link_3D_tet4.bdf	12/03/2013 16:22	File BDF	10387 KB
main_fitting_3D_tet4.bdf	07/03/2013 10:12	File BDF	66547 KB
MLG_180_Lc_04.bdf	22/04/2013 17:19	File BDF	3 KB
MLG_180_Lc_05.bdf	22/04/2013 17:19	File BDF	3 KB
MLG_180_Lc_09.bdf	22/04/2013 17:19	File BDF	3 KB
MLG_180_Lc_012.bdf	23/04/2013 08:24	File BDF	3 KB
mpc_sliding_180_tet4.bdf	21/12/2012 10:04	File BDF	7 KB
mpc_wheel_tet4.bdf	07/03/2013 10:17	File BDF	11 KB
pload_180.bdf	19/12/2012 12:14	File BDF	224 KB
skin_main_fitting_180_t3.bdf	22/04/2013 09:52	File BDF	925 KB
sliding_tube_3D_tet4.bdf	16/04/2013 18:23	File BDF	9192 KB
sliding_tube_int_skin_t3.bdf	20/12/2012 12:18	File BDF	1492 KB
Upper_Link_3D_tet4.bdf	06/02/2013 17:04	File BDF	8789 KB
Y_neg_tet4.bdf	04/02/2013 14:28	File BDF	5 KB
Y_pos_tet4.bdf	20/12/2012 11:56	File BDF	5 KB







































## 8.1.7 FEM\_MLG\Stiffness\mlg350:

Mlg\_350

Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
Coord_system_at_350.bdf	21/11/2012 10:59	File BDF	1 KB
displacements_points.bdf	12/04/2013 09:36	File BDF	2 KB
drag_brace_spezzato.bdf	04/04/2013 13:55	File BDF	4 KB
Lower_Link_3D_tet4.bdf	12/03/2013 16:22	File BDF	10387 KB
main_fitting_3D_tet4.bdf	07/03/2013 10:12	File BDF	66547 KB
MLG_350_Lc_03.bdf	22/04/2013 17:20	File BDF	3 KB
MLG_350_Lc_06.bdf	22/04/2013 17:21	File BDF	3 KB
MLG_350_Lc_010.bdf	22/04/2013 17:22	File BDF	3 KB
MLG_350_Lc_011.bdf	22/04/2013 17:22	File BDF	3 KB
mpc_sliding_350_tet4.bdf	21/12/2012 10:03	File BDF	7 KB
mpc_wheel_tet4.bdf	07/03/2013 10:17	File BDF	11 KB
pload_350.bdf	19/12/2012 15:05	File BDF	95 KB
skin_main_fitting_350_t3.bdf	22/04/2013 09:59	File BDF	240 KB
sliding_tube_3D_tet4.bdf	16/04/2013 18:23	File BDF	9192 KB
sliding_tube_int_skin_t3.bdf	20/12/2012 12:18	File BDF	1492 KB
Upper_Link_3D_tet4.bdf	06/02/2013 17:04	File BDF	8789 KB
Y_neg_tet4.bdf	04/02/2013 14:28	File BDF	5 KB
Y_pos_tet4.bdf	20/12/2012 11:56	File BDF	5 KB



## 8.1.8 FEM\_MLG\Strength:

Strength			
Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
 Coord_system_at_63_5.bdf	08/04/2013 14:14	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_72.bdf	21/11/2012 11:51	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_127.bdf	08/04/2013 14:14	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_135.bdf	21/11/2012 10:54	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_290.bdf	08/04/2013 14:15	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_291.bdf	08/04/2013 14:15	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_298.bdf	21/11/2012 11:55	File BDF	1 KB
 Coord_system_at_300.bdf	21/11/2012 10:58	File BDF	1 KB
 displacements_points_mod.bdf	12/04/2013 11:44	File BDF	3 KB
 dms_strain gauge.bdf	17/04/2013 11:49	File BDF	1 KB
 drag_brace_spezzato.bdf	04/04/2013 13:55	File BDF	4 KB
 Lower_Link_3D_tet4.bdf	12/03/2013 16:22	File BDF	10387 KB
 main_fitting_3D_tet4.bdf	07/03/2013 10:12	File BDF	66547 KB
 MLG_72_2pt_spin_up_limit.bdf	23/04/2013 08:31	File BDF	3 KB
 MLG_135_2pt_spring_back_limit.bdf	23/04/2013 08:33	File BDF	3 KB
 MLG_298_2pt_drift_landing_right_limit.bdf	23/04/2013 08:33	File BDF	3 KB
 MLG_300_2pt_braked_roll_limit.bdf	23/04/2013 08:33	File BDF	3 KB
 mpc_sliding_72_tet4.bdf	11/04/2013 16:21	File BDF	7 KB
 mpc_sliding_135_tet4.bdf	11/04/2013 16:28	File BDF	7 KB
 mpc_sliding_298_tet4.bdf	12/04/2013 09:20	File BDF	7 KB
 mpc_sliding_300_tet4.bdf	12/04/2013 09:30	File BDF	7 KB
 mpc_wheel_tet4.bdf	07/03/2013 10:17	File BDF	11 KB
 pload_72.bdf	19/12/2012 15:02	File BDF	175 KB
 pload_72_mod.bdf	21/12/2012 12:13	File BDF	179 KB
 pload_135.bdf	19/12/2012 15:03	File BDF	217 KB
 pload_298.bdf	19/12/2012 15:03	File BDF	155 KB
 pload_300.bdf	19/12/2012 15:04	File BDF	153 KB
 skin_main_fitting_72_t3.bdf	16/04/2013 17:57	File BDF	1353 KB
 skin_main_fitting_135_t3.bdf	22/04/2013 09:51	File BDF	1108 KB
 skin_main_fitting_298_t3.bdf	22/04/2013 09:54	File BDF	453 KB
 skin_main_fitting_300_t3.bdf	22/04/2013 09:58	File BDF	441 KB
 sliding_tube_3D_tet4.bdf	16/04/2013 18:23	File BDF	9192 KB
 sliding_tube_int_skin_t3.bdf	20/12/2012 12:18	File BDF	1492 KB
 Upper_Link_3D_tet4.bdf	06/02/2013 17:04	File BDF	8789 KB
 Y_neg_tet4.bdf	04/02/2013 14:28	File BDF	5 KB
 Y_pos_tet4.bdf	20/12/2012 11:56	File BDF	5 KB





