

# Università degli Studi di Pisa



## Facoltà di Ingegneria

### Corso di laurea in Ingegneria Meccanica

#### Cella di prova automatizzata per verifiche a fatica del “Gruppo Cambio” a variatore continuo e discreto

di

**Antonio Palladino**

Relatori:

Prof. Dante Miconi

Prof. Francesco Frenzo

Ing. Alessandro Calastri

Ing. Giuseppe Papadia

# INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1.    PROFILO AZIENDALE .....	4
1.2.    SPECIFICHE DEL PROGETTO .....	6
1.3.    OBIETTIVO .....	7
1.4.    STRUMENTAZIONE DISPONIBILI IN AZIENDA .....	8
<b>2. CELLA DI PROVA AUTOMATIZZATA .....</b>	<b>9</b>
2.1.    GENERALITÀ .....	9
2.2.    SCHEMA BLOCCHI DELLA CELLA AUTOMATIZZATA .....	10
2.3.    STRUTTURA AUTOMATIZZATA .....	12
2.3.1.    MODULO GESTIONE PEDALIERA .....	13
2.3.2.    MODULO GESTIONE LEVA DEL CAMBIO .....	16
<b>3. VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>20</b>
3.1.    VERIFICHE STATICHE .....	21
3.1.1.    ANALISI DEI CARICHI .....	21
3.1.2.    MODULO GESTIONE PEDALIERA .....	23
3.1.3.    MODULO GESTIONE LEVA DEL CAMBIO .....	25
3.2.    VERIFICHE A FATICA .....	28
3.3.    COPPIE DI SERRAGGIO VITI .....	30
<b>4. PROGRAMMAZIONE DELLA CELLA .....</b>	<b>31</b>
4.1.    GENERALITÀ .....	31
4.2.    CARATTERISTICHE DEI MOTORI LINEARI .....	32
4.3.    PROGRAMMAZIONE .....	35
<b>5. CELLA DI PROVA .....</b>	<b>38</b>
5.1.    BANCO A RULLI .....	39
5.2.    CABINA DI INSONORIZZAZIONE .....	40
5.3.    IMPIANTO DI VENTILAZIONE .....	40
5.4.    IMPIANTO PNEUMATICO .....	42
5.5.    RELAZIONE SUI RISCHI .....	43
5.5.1.    CONSIDERAZIONI GENERALI .....	43
5.5.2.    COMANDI .....	44
5.5.3.    PROTEZIONE CONTRO I RISCHI MECCANICI .....	45
5.5.4.    CARATTERISTICHE DELLE PROTEZIONI E DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE .....	45

5.5.5.	MISURE DI PROTEZIONE CONTRO ALTRI RISCHI .....	46
5.5.5.1.	RISCHI DOVUTI ALL'ENERGIA ELETTRICA.....	46
5.5.5.2.	RISCHI DI INCENDIO.....	47
5.5.5.3.	RISCHI LEGATI ALL'IMPIANTO PNEUMATICO .....	47
5.6.	COEFFICIENTI DI SICUREZZA E CONFORMITÀ A NORME.....	48
5.6.1.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO SPECIFICA.....	48
5.6.2.	PROGETTO MECCANICO.....	48
5.6.3.	PROGETTO ELETTRICO.....	48
5.6.4.	PROGETTO IMPIANTO PNEUMATICO.....	49
5.7.	GAS DI SCARICO .....	49
<b>6.</b>	<b>PREVENTIVO DI SPESA .....</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>52</b>
7.1.	SVILUPPI FUTURI .....	54
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>
	<b>ALLEGATO A: VERIFICHE STRUTTURALI DEL MODULO GESTIONE PEDALIERA .....</b>	<b>56</b>
	SUMMARY.....	57
	MODEL INFORMATION .....	57
	ANALYSIS INFORMATION .....	62
	RESULTS INFORMATION .....	63
	<b>ALLEGATO B: VERIFICHE STRUTTURALI DEL MODULO GESTIONE CAMBIO, CONDIZIONI DI CARICO 1.....</b>	<b>68</b>
	SUMMARY.....	69
	MODEL INFORMATION .....	69
	ANALYSIS INFORMATION .....	76
	RESULTS INFORMATION .....	77
	<b>ALLEGATO C: VERIFICHE STRUTTURALI DEL MODULO GESTIONE CAMBIO, CONDIZIONI DI CARICO 2.....</b>	<b>83</b>
	SUMMARY.....	84
	MODEL INFORMATION .....	84
	ANALYSIS INFORMATION .....	91
	RESULTS INFORMATION .....	93
	<b>ALLEGATO D: MESSA IN TAVOLA MODULO GESTIONE PEDALIERA .....</b>	<b>99</b>
	<b>ALLEGATO E: MESSA IN TAVOLA MODULO GESTIONE LEVA DEL CAMBIO.....</b>	<b>108</b>
	<b>ALLEGATO F: SCHEDE TECNICHE DEGLI ELEMENTI UTILIZZATI. ....</b>	<b>120</b>

# 1. Introduzione

## 1.1. Profilo aziendale

Fondato nel 1884 da Rinaldo Piaggio, il Gruppo Piaggio, con sede a Pontedera (Pisa, Italia), è oggi uno dei principali costruttori mondiali di veicoli motorizzati a due ruote.

Il Gruppo è controllato da Immsi S.p.A., holding industriale e di servizi quotata alla Borsa di Milano, che fa capo a Roberto Colaninno, Presidente di Piaggio. L'Amministratore Delegato di Piaggio è Rocco Sabelli.

Nel 2004 il Gruppo Piaggio ha registrato ricavi consolidati per 1.084,2 milioni di euro (+9,8% rispetto all'esercizio 2003), con il ritorno all'utile netto dopo quattro anni di perdite.

Dopo l'integrazione con il Gruppo Aprilia, la cui acquisizione è stata perfezionata il 30 dicembre 2004, Piaggio si colloca fra i primi quattro operatori al mondo nel mercato di riferimento con:

- una consolidata leadership nel mercato europeo due ruote, in cui detiene una quota del 24% a fine 2004 (35% in Italia) e una presenza particolarmente significativa nel settore scooter e veicoli 50cc (40% del mercato europeo e 48% in Italia)
- una capacità produttiva di circa 600.000 veicoli l'anno nei segmenti a due e tre ruote e nei veicoli commerciali a quattro ruote;
- 7 impianti industriali, di cui 4 in Italia e 3 all'estero (India, Spagna, Repubblica Popolare Cinese);
- 6 centri di ricerca e sviluppo;
- 6.000 dipendenti;
- presenza in oltre 50 Paesi.

La gamma di prodotti comprende scooter, moto e ciclomotori nelle cilindrata da 50 a oltre 1000cc con i marchi Piaggio, Vespa, Gilera, Derbi, Aprilia, Guzzi, Scarabeo. Il Gruppo opera inoltre nel trasporto leggero di merci a tre e quattro ruote con le gamme di veicoli Ape, Porter e Quargo.

In oltre 120 anni di storia, Piaggio ha coperto praticamente ogni settore della mobilità: dagli arredamenti navali alla costruzione di motrici e vagoni ferroviari, dai motori per impiego aeronautico a idrovolanti e aerei civili e militari.

La storia più recente dell'azienda è tuttavia legata alla mobilità leggera: con la creazione della Vespa, nel 1946, Piaggio ha non solo anticipato le emergenti esigenze di mobilità individuale che tuttora caratterizzano la società moderna, ma ha creato un simbolo dello stile italiano tra i più noti nel mondo, nonché un prodotto che ha conosciuto e conosce tuttora uno straordinario successo commerciale, con oltre 16 milioni di unità finora prodotte.

## 1.2. Specifiche del progetto

Nella “Divisione Veicoli Trasporto Leggero (VTL) – Prototipi e Prove” della PIAGGIO&C.s.p.a., che cura la gamma di prodotti nel trasporto leggero di merci a tre e quattro ruote, si effettuano prove di verifica a fatica del “Gruppo Trasmissione” a variatore continuo e discreto dei vari veicoli a quattro ruote (si riportano alcune tipologie di veicolo nelle figure 1-1, 1-2) secondo la Normativa Fiat 7-T4147.



Figura 1-1 Porter Pick-Up



Figura 1-2 Porter Glass Van

Si riportano qui di seguito i punti salienti di tale normativa per eseguire la verifica di un veicolo munito di cambio discreto a cinque rapporti con disposizione ad H, questo sarà il nostro caso di maggiore interesse, ma estendibile anche a veicoli con variatore continuo.

- **Sequenza d’innesto delle marce:** 1-2-3-4-5-3-2-3-4-3-2-1. Per sollecitare maggiormente il gruppo cambio.
- **Raggiungere una totalità di 60000 cambiate** eseguendo la sequenza precedente.
- **Eseguire 20000 innesti della retromarcia** per verificare la ruota oziosa del cambio.
- **La prova termina al compiere delle 80000 cambiate.**
- **Selezione di una marcia superiore** in corrispondenza del numero di giri del motore in cui eroga la potenza massima.
- **Selezione di una marcia inferiore** in corrispondenza del numero di giri in cui il motore eroga la coppia massima.
- **Durante la prova il veicolo deve essere rallentato esclusivamente tramite il freno motore**, senza l’ausilio del sistema frenante, per sollecitare maggiormente il gruppo cambio.

- **Test da ripetere su tre veicoli** montanti la stessa tipologia di cambio per avere un riscontro statistico dei risultati ottenuti.

Attualmente questo tipo di prova viene eseguita su pista, di cui si riporta uno schema in figura 1-3, con notevole dispendio di tempo e risorse umane. La prova è eseguita su tre turni per far sì che il veicolo sia in movimento ventiquattro ore su ventiquattro (che si riducono all'incirca a ventidue ore effettive per i vari tempi morti). Ogni prova ha una durata di circa trentacinque ÷ quaranta giorni. Per com'è strutturata tale prova comporta, quindi, un notevole dispendio di risorse economiche (circa 30.000 Euro).

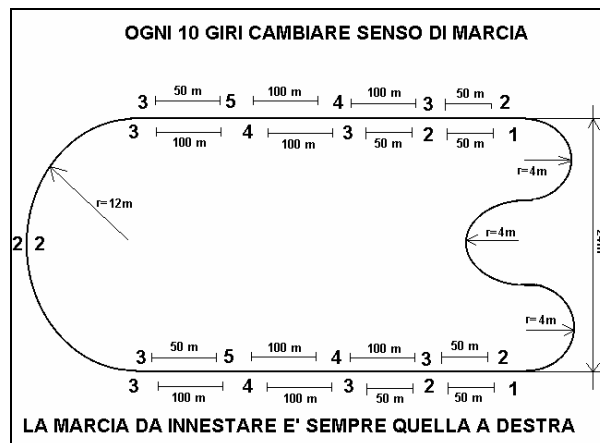


Figura 1-3 Schema della pista su cui viene eseguita la prova.

### 1.3. Obiettivo

Lo scopo di questo progetto è di eseguire tali prove di resistenza a fatica in una cella automatizzata per poter abbattere i costi di sviluppo di progetto.

Tramite un banco a rulli, si riproduce il percorso stradale e mediante una struttura totalmente automatizzata, da installare all'interno dell'abitacolo, si eseguono tutte le operazioni necessarie per gestire il veicolo (innesto e disinnesto della frizione, gestione dell'acceleratore, cambio delle marce).

## 1.4. Strumentazione disponibile in azienda

Nella “Divisione Veicoli Trasporto Leggero (VTL) – Prototipi e Prove” sono già disponibili le seguenti strumentazioni che si utilizzeranno nello sviluppo del nostro progetto:

- **Banco a rulli:** tramite il quale si riproduce il percorso stradale.
- **Cabina per analisi gas di scarico:** all’interno della quale è collocato il banco a rulli, e munita di pannelli d’insonorizzazione e sistema di ventilazione.

Le strutture automatizzate che andremo a sviluppare, si devono integrare con le specifiche e la programmazione preesistente sul banco a rulli. S’integreranno anche tutti i sistemi di sicurezza della cella per l’analisi dei gas di scarico e del banco a rulli con i nostri moduli automatizzati



## **2. Cella di prova automatizzata**

### **2.1. Generalità**

Questo progetto è volto a sviluppare una soluzione per gestire il veicolo su di un banco a rulli durante la prova di verifica a fatica del gruppo cambio secondo la Normativa Fiat 7-T4147, senza la presenza d'alcun operatore all'interno della cella. Quindi dobbiamo ideare dei moduli totalmente automatizzati che gestiscono la pedaliera del veicolo (frizione e acceleratore), e la leva del cambio (nel caso di variatore discreto, oppure inserimento della ridotta nel caso di variatore continuo), il tutto integrato con la funzionalità del banco a rulli preesistente in azienda.

Si è sviluppata una soluzione per le strutture portanti altamente modulare, così da rendere i moduli per la gestione del veicolo molto flessibili. Questo perché la cella di prova deve essere utilizzabile per qualsiasi tipologia di veicolo a quattro ruote prodotto dall'azienda.

## 2.2. Schema Blocchi della Cella Automatizzata

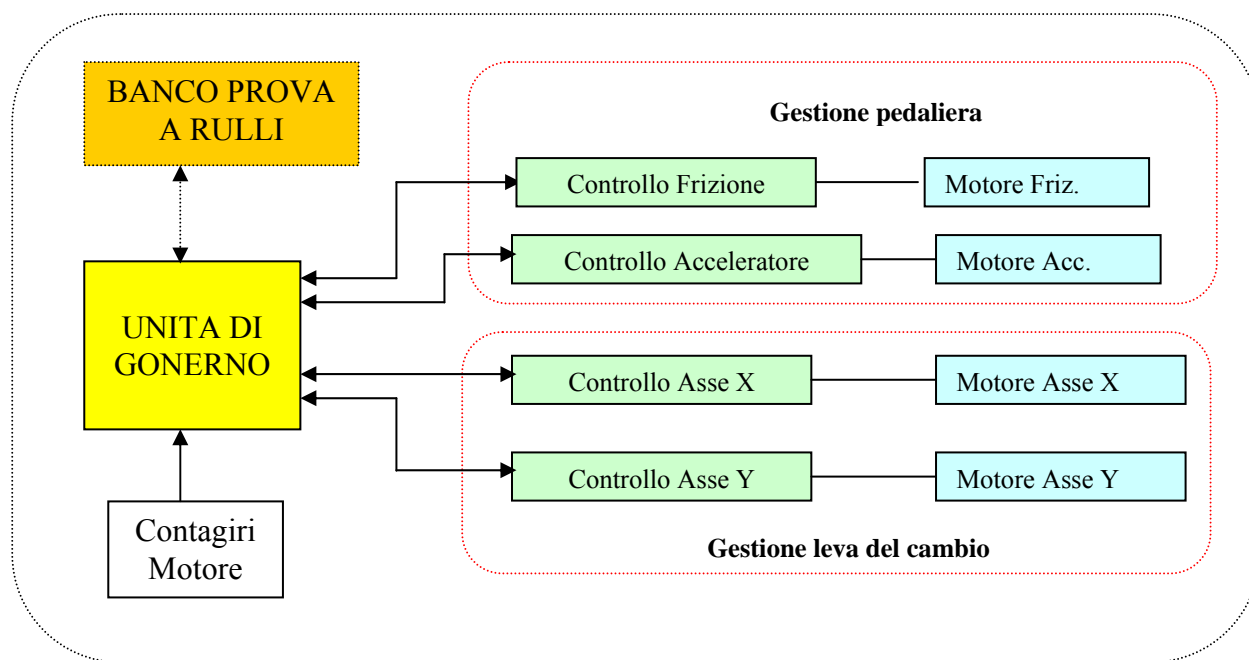


Figura 2-1 – Schema a blocchi della cella automatizzata.

Come si può osservare dalla figura 2-1, la cella automatizzata è composta da una “Unita di Governo” per la gestione e programmazione della struttura automatizzata. Con essa sono interfacciati i vari moduli di controllo dei motori lineari, il banco a rulli (tramite la sua unità di governo), e un contagiri del motore.

Il contagiri occorre perché il numero di giri del motore è la variabile in base alla quale s’individua l’operazione da eseguire nel caso in cui il veicolo in prova è munito di un variatore discreto. Quando si raggiunge il numero di giri corrispondente alla potenza massima erogabile del motore, bisogna far inserire una marcia superiore; mentre al numero di giri corrispondente alla coppia massima erogabile dal motore bisogna scalare di una marcia.

I motori lineari sono stati scelti come attuatori, per via dell’alto rapporto prestazioni/costo.

Infatti sono dotati di elevate accelerazioni e velocità, che ci garantiscono una grande rapidità negli spostamenti. Grazie a queste caratteristiche, riusciamo ad eseguire le operazioni di cambio marcia in un intervallo compreso tra i 0.6 ÷ 0.8 secondi, corrispondente al tempo medio di cambiata.

Grazie al loro modulo di controllo, risulta molto semplice programmarli e gestirli tramite un software dedicato, fornito dalla ditta produttrice. Non richiedono l'adozione di sensori di posizione, in quanto ne sono già muniti al loro interno, e garantiscono una precisione nel posizionamento di 0.1 mm. Per la nostra applicazione, sono stati dimensionati in base al carico massimo e alla corsa che devono garantire nelle varie operazioni. Si riporta nella tabella 2-1 alcune caratteristiche dei motori lineari da noi impiegati. .

**Tabella 2-1 Caratteristiche meccanici dei motori lineari.**

<b>Vincolo<sup>1</sup></b>	<b>Valore</b>
Forza Continua (F <sub>C</sub> )	150 N
Forza di Picco (F <sub>P</sub> )	580 N
Corsa Massima <sup>2</sup>	200 mm
Forze Radiali <sup>3</sup>	0 N

<sup>1</sup> Per ulteriori chiarimenti si rimanda al catalogo dei motori lineari della LitMot.

<sup>2</sup> Può essere incrementato variando solo lo Slider del motore.

<sup>3</sup> Per questa ragione verranno utilizzate delle guide meccaniche nello sviluppo dei vari moduli.

## 2.3. Struttura Automatizzata

La soluzione sviluppata è una struttura automatizzata composta da due moduli. Il primo modulo esegue la gestione della pedaliera (pedale dell'acceleratore e frizione) fig. 2-1, e il secondo esegue la movimentazione della leva del cambio (per veicoli con variatore discreto) fig. 2-2.

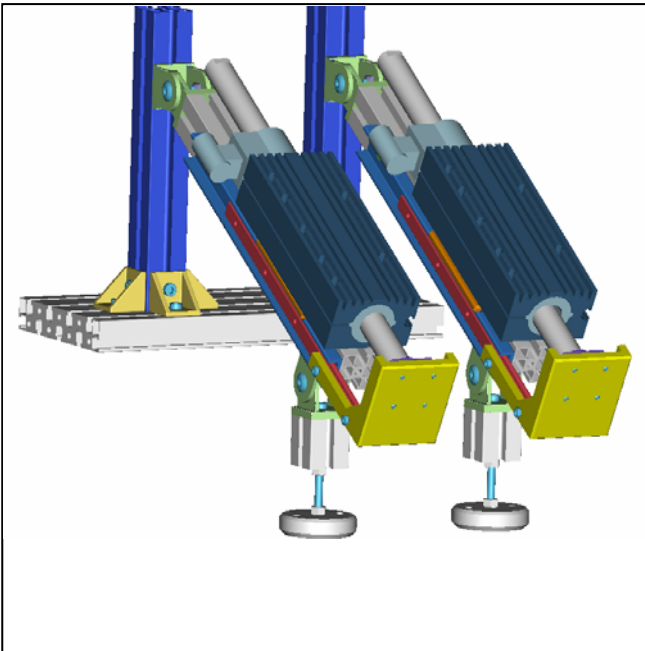


Figura 2-1 – Modulo Gestione Pedaliera

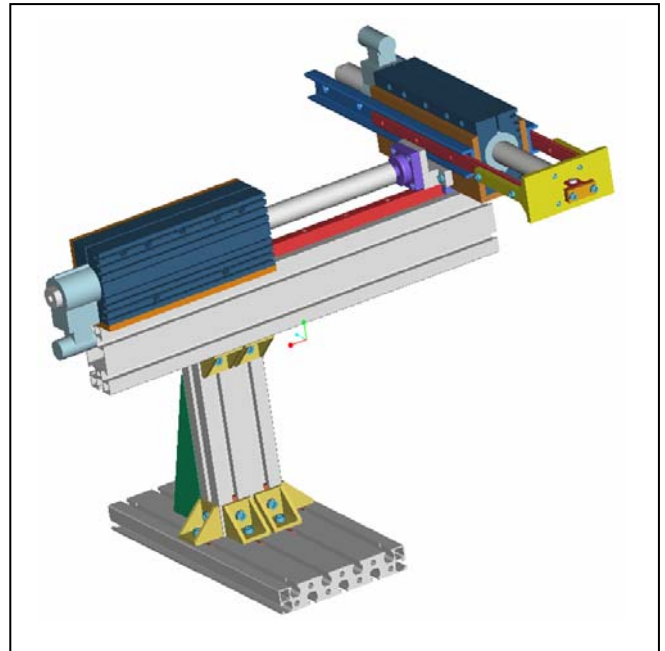


Figura 2-2 – Modulo Gestione Leva del Cambio

Entrambi i moduli sono realizzati con profilati in alluminio, uniti con angolari di fissaggio e bulloni per aumentare la modularità delle strutture e quindi la flessibilità della cella automatizzata. Requisiti indispensabili per questi moduli, visto che la loro utilizzazione deve essere possibile su ogni tipologia di veicolo a quattro ruote, a prescindere dai vari vincoli ambientali che possono sorgere con le diverse tipologie e dimensioni degli abitacoli dei vari veicoli.

Nei prossimi paragrafi saranno descritti in dettaglio le soluzioni adottate per lo sviluppo dei due moduli, facendo riferimento anche alla loro installazione all'interno dell'abitacolo.

### 2.3.1. Modulo Gestione Pedaliera

Questo modulo è stato ideato in modo tale da garantire il suo utilizzo in ogni tipologia di veicolo la cui pedaliera abbia una distanza massima tra i pedali della frizione e dell'acceleratore di 450 mm. Nel caso di veicoli muniti di un gruppo cambio a variatore continuo, esso è sempre utilizzabile perché, in tal caso, si deve gestire soltanto il pedale dell'acceleratore.

La struttura portante è totalmente realizzata tramite profilati in alluminio.

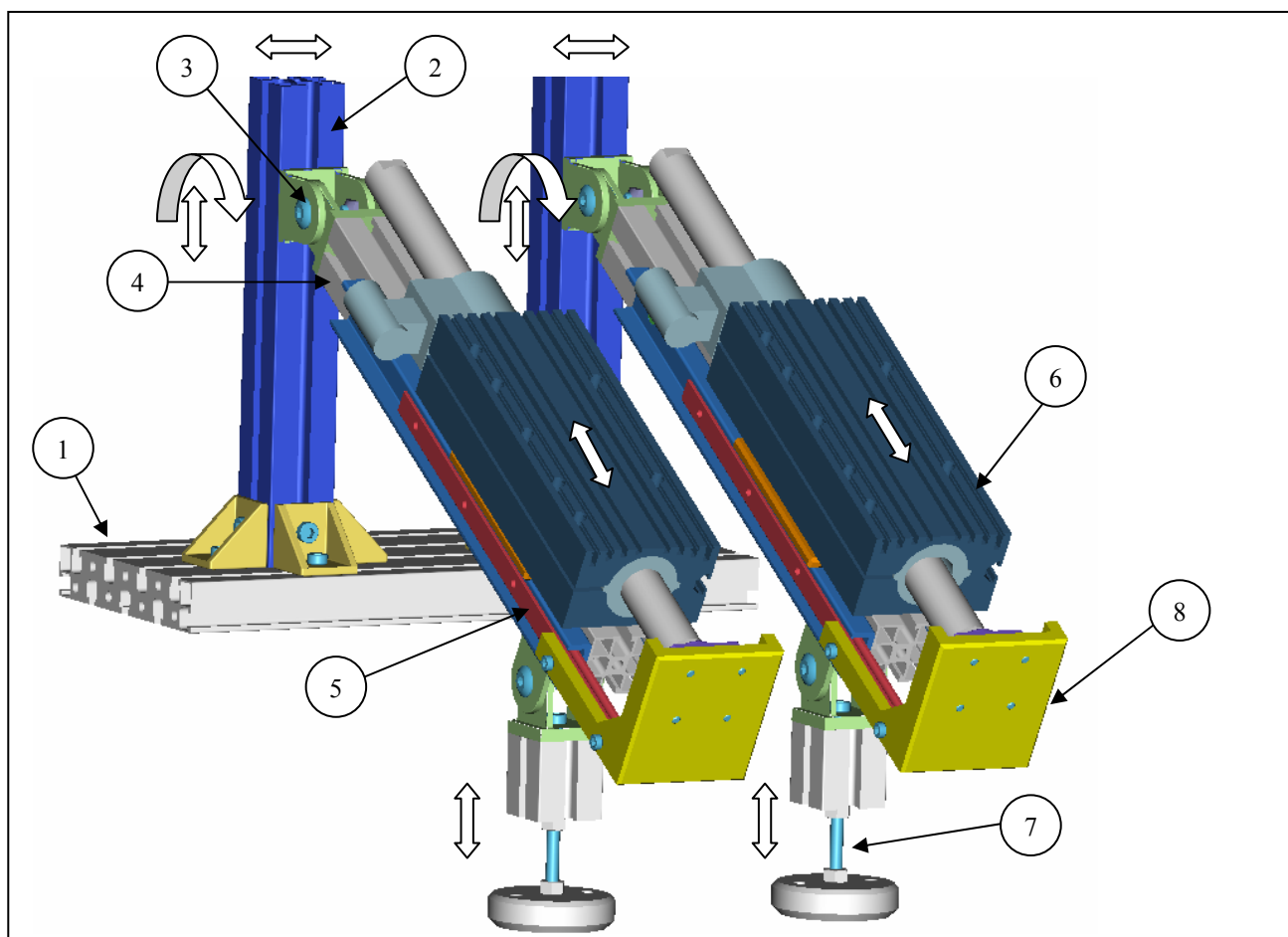


Figura 2-3 – Modulo Gestione Pedaliera

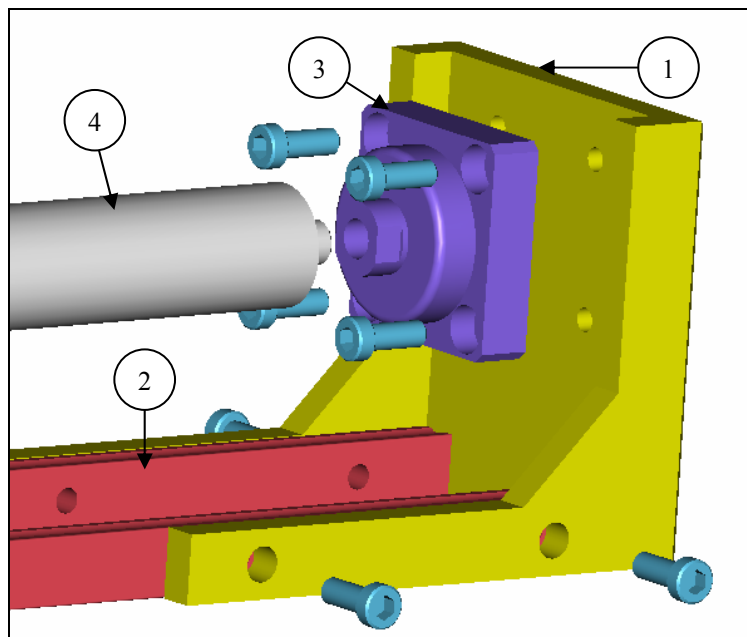
Come riportato in figura 2-3, tale modulo è costituito dai seguenti componenti principali<sup>4</sup>:

- Una Base (1);
- Due Montanti (2);
- Quattro Giunti Snodati (3);

<sup>4</sup> Le specifiche tecniche di tutti gli elementi utilizzati per la realizzazione di questo modulo sono riportati nell'allegato F

- Due Travi (4);
- Quattro Guide Telescopiche (5);
- Due Motori Lineari (Acceleratore, Frizione) (6):
- Due Piedini Regolabili (7)
- Due Cursori (8).

Nel modulo sono state impiegate le guide meccaniche di tipo telescopico della ROLLON<sup>5</sup> per sopportare i carichi in direzione radiale che andrebbero a sollecitare lo slider dei motori lineari. Carico radiale presente perché, nello schiacciare il pedale, esso compie una rotazione intorno al suo punto di calettamento, questo implica che il carico che viene trasmesso dalla superficie di contatto pedale/cursore non rimanga in direzione perpendicolare al cursore, generando così una componente radiale. Con riferimento alla figura 2-4, il cursore (1) è montato sulle guide meccaniche telescopiche<sup>6</sup> (2). Per evitare carichi radiali che possono insorgere nella fase di montaggio per errori di coassialità tra l'asse dello slider (4) e la normale alla superficie del cursore, si utilizza un giunto di compensazione (3) per unire questi due elementi.

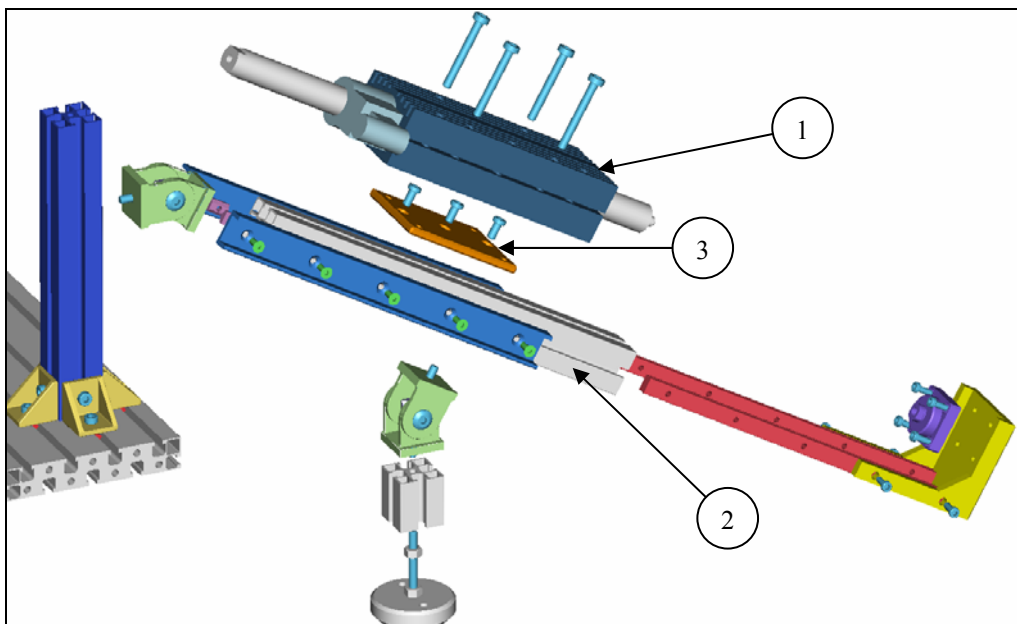


**Figura 2-4 Esploso del montaggio cursore/slider.**

In figura 2-5 si riporta un esploso parziale del modulo. In esso è possibile vedere come il motore lineare (1) è fissato alla trave (2) mediante la piastra di fissaggio (3).

<sup>5</sup> Vedi specifiche tecniche nell'allegato F

<sup>6</sup> In figura 2-4 è visibile solo la parte mobile delle guide.



**Figura 2-5 Esploso parziale modulo gestione pedaliera.**

Una caratteristica peculiare di questo modulo è l'assenza di saldature grazie all'utilizzo di profilati in alluminio, che sono uniti tramite angolari di fissaggio e bulloni. Il peso della struttura risulta molto ridotto, all'incirca 11 kg, consentendo una gran maneggevolezza anche nella fase d'installazione all'interno dell'abitacolo. Il modulo va montato al posto del sedile del pilota. Con questa semplice struttura modulare è possibile, una volta fissata la base sul telaio tramite dei bulloni, registrare i montanti affinché risultino allineati con i rispettivi pedali. Eseguire una regolazione in altezza e angolare delle travi tramite i giunti snodati sul montante, regolare l'altezza dei piedini (che andranno fissati al pianale del veicolo tramite bulloni), in modo tale da far risultare il cursore parallelo alla superficie del pedale. In fine, si fa scorrere il motore lineare sulla trave finché non si porta a contatto il cursore con la superficie del pedale. Con queste semplici operazioni di pre-setting del modulo, siamo in grado di gestire in modo ottimale la pedaliera del veicolo. Si fa osservare l'assenza della gestione del pedale del freno, in quanto, in questa tipologia di prova a fatica, per sollecitare maggiormente il cambio, si fa rallentare il veicolo esclusivamente tramite il freno motore. Nell'eventualità d'anomalie durante l'esecuzione della prova, per arrestare il veicolo si sfruttano le caratteristiche del banco a rulli, che ci garantisce un arresto del veicolo in un tempo sufficientemente breve, che soddisfa le norme di sicurezza vigenti in corso.<sup>7</sup> La messa in tavola del modulo e dei relativi particolari sono riportati nell'allegato D, mentre le specifiche tecniche dei vari componenti utilizzati sono riportate nell'allegato F.

<sup>7</sup> Si rimanda al capitolo 5 per approfondimenti su caratteristiche e norme di sicurezza del banco a rulli.

### 2.3.2. Modulo Gestione Leva del Cambio

Questo modulo è stato ideato in modo tale da garantire il suo utilizzo in ogni tipologia di veicolo in cui l'escursione massima della leva del cambio sia minore di 200 mm in direzione X e Y. Nel caso di veicoli muniti di un gruppo cambio a variatore continuo, esso è sempre utilizzabile perché, in tal caso, si deve gestire soltanto la leva d'innesto della ridotta.

La struttura portante è totalmente realizzata tramite profilati in alluminio.

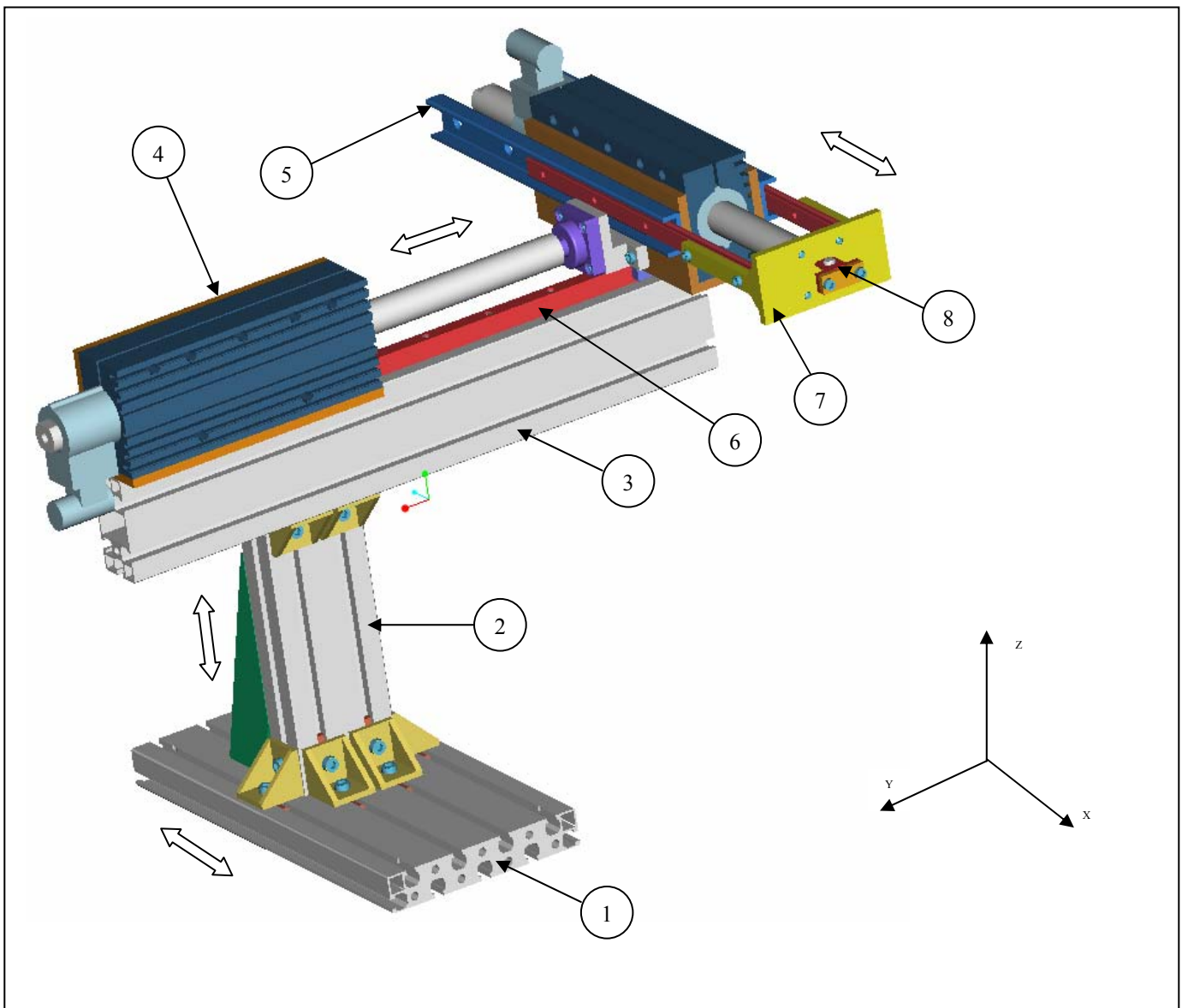


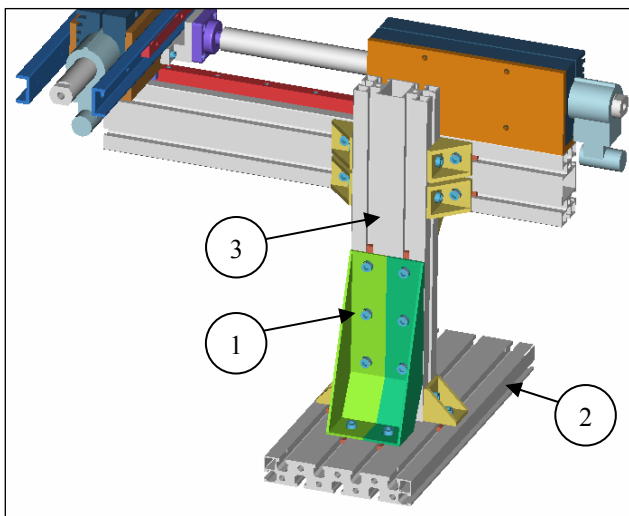
Figura 2-6 Modulo gestione Pedaliera



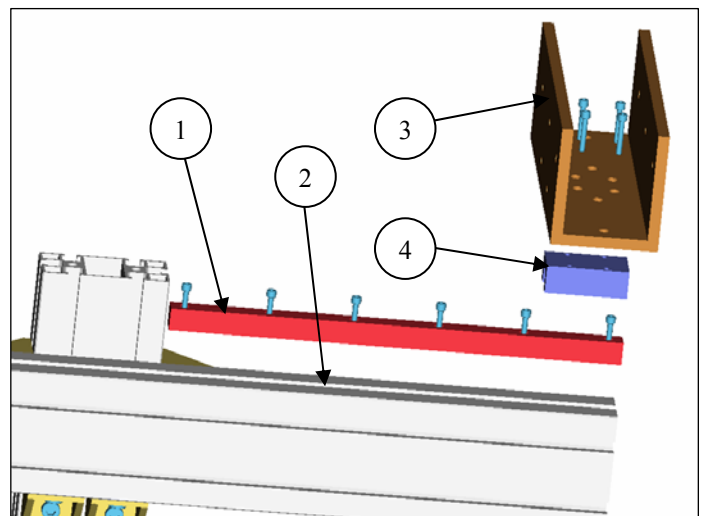
Come riportato in figura 2-6, tale modulo è costituito dai seguenti componenti principali<sup>8</sup>:

- Una Base (1)
- Un Montante (2)
- Una Trave (3)
- Due Motori Lineari (asse X e Y) (4)
- Due Guide Telescopiche (5)
- Una Guida Lineare (6)
- Un Cursore (7)
- Un Giunto Sferico (8)

Per irrigidire la struttura portante del modulo, vedi figura 2-7, si sono utilizzate due staffe d'acciaio (1) montate per unire la base(2) con il montante (3). Nella figura 2-8 è riportato un esploso parziale di come la guida lineare(1) va montata sulla trave (2), e com'è montata la flangia di calettamento (3) del motore X sul carrello (4) della guida.



**Figura 2-7 Particolare della struttura portante del modulo gestione leva del cambio.**

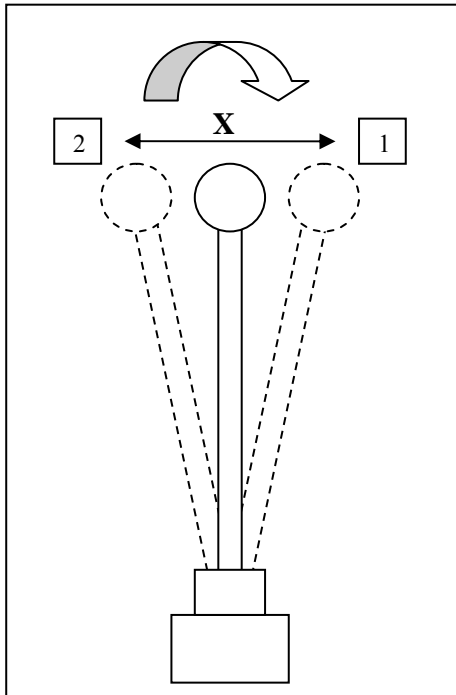


**Figura 2-8 Esploso parziale: guida lineare/flangia di calettamento motore X.**

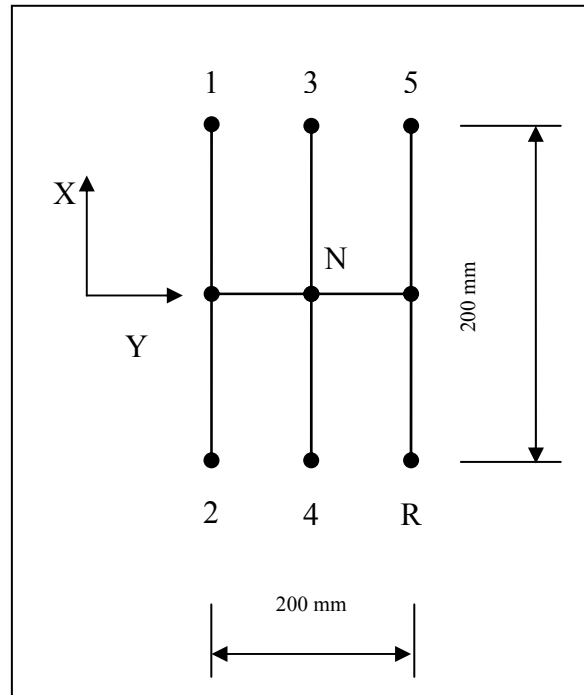
Per consentire l'oscillazione della leva del cambio nel selezionare le marce nel caso di variatore discreto, vedi figura 2-9 e 2-10, si è realizzato un giunto sferico (vedi fig. 2-11 e 2-12) costituito da una testa di biella con cuscinetto sferico(1) (fissato al cursore del modulo) sul quale, tramite un perno (2) e anello siger (3), viene montata una staffa (4). Tramite la piastrina (5) si blocca la leva del

<sup>8</sup> Le specifiche tecniche di tutti gli elementi utilizzati per la realizzazione di questo modulo sono riportati nell'allegato F

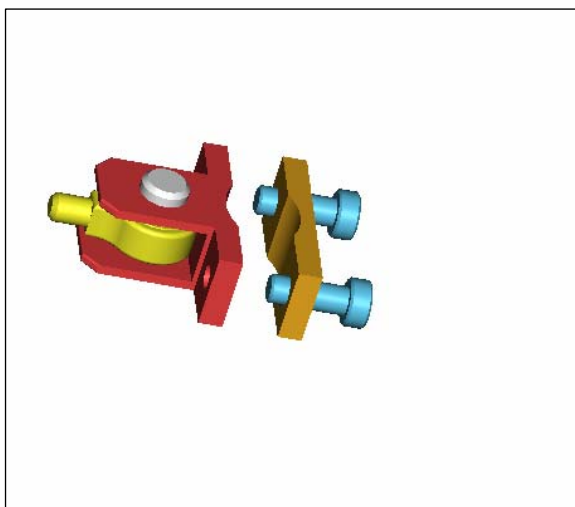
cambio al giunto sferico. Il giunto sferico consente un'oscillazione della leva di un angolo di circa  $28^\circ$  nelle direzioni X e Y, in modo tale da consentire il suo spostamento senza generare alcun momento sul cursore.



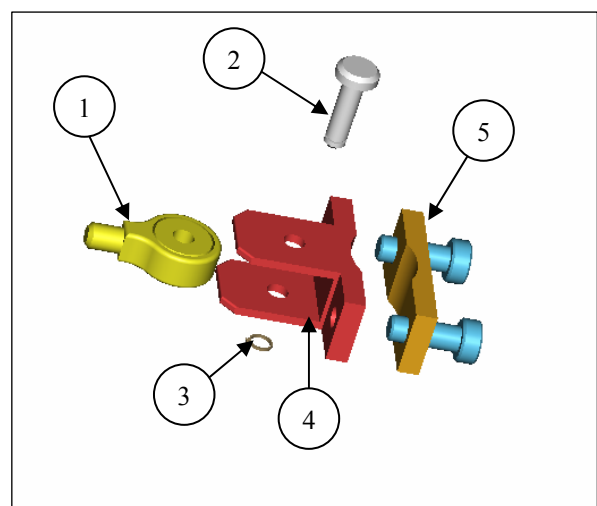
**Figura 2-9** Oscillazione della leva del cambio per spostamenti lungo X (analogo lungo Y)



**Figura 2-10** Schema di un cambio discreto ad H, con escursione Max ammissibile della leva.



**Figura 2-11** Giunto sferico per l'oscillazione della leva del cambio.



**Figura 2-12** Esploso del Giunto sferico per l'oscillazione della leva del cambio.

Il modulo va installato all'interno dell'abitacolo, al posto del sedile del passeggero. Fissata la base al telaio tramite bulloni, mediante una rilegazione in direzione  $X^9$  del montante sulla base, e dell'altezza in direzione  $Z$  della trave sul montante, possiamo regolare il punto di calettamento sulla leva del cambio. Si regola l'escursione a sbalzo della trave in direzione  $Y$ , rispetto al montante, in modo che, quando i motori sono in posizione di riposo, il cursore si trovi nella posizione di "Neutro" o "Folle" del selettore delle marce (posizione "N" in fig. 2-8). Come già accennato in precedenza, in base ai "Slider" scelti per i motori lineari, siamo in grado di azionare qualsiasi tipo di cambio in cui l'escursione massima della leva (nel piano  $XY$  contenente il punto di calettamento) sia minore o uguale di 200 mm. Si è scelto uno slider tale da garantire questa corsa, perché dobbiamo rispettare un vincolo ambientale dovuto alle dimensioni dell'abitacolo, ossia: nella posizione di selezione della seconda, quarta marcia e della retro (vedi fig. 2-8), l'ingombro massimo del modulo in direzione  $X$  può essere di 550 mm. Questo vincolo ambientale è presente solo nei veicoli furgonati, tipo il Porter Pick-Up, vedi figura 1-1.

La messa in tavola del modulo e dei relativi particolari sono riportati nell'allegato E, mentre le specifiche tecniche dei vari elementi utilizzati sono riportate nell'allegato F.

---

<sup>9</sup> Per una migliore comprensione delle regolazioni, vedi il sistema di riferimento in figura 2-6.

### 3. Verifiche Strutturali

Le strutture sono state realizzate tramite profilati in alluminio. Le relative caratteristiche meccaniche sono state prese dal catalogo della ditta fornitrice di tali profilati. Si riporta brevemente un prospetto con tali caratteristiche nella tabella 3-1.

**Tabella 3-1 Caratteristiche meccaniche dei profilati ROBOMECH.**

Caratteristica	Valore
Materiale	Alluminio lega 6060 UNI 3569
Stato fisico	Ta A
Trattamento	Anodizzazione naturale 15µm
Tolleranza	UNI 3879
Procedure di fabbricazione:	Profilato estruso temprato
Limite di allungamento:	220 N/mm <sup>2</sup>
0.2% limite di estensione:	160 N/mm <sup>2</sup>
Allungamento alla rottura As:	12%
Allungamento alla rottura A10:	10%
Modulo di elasticità:	72000 N/mm <sup>2</sup>
Durezza Brinell	Aprox. 70HB 2.5/62.5
Superficie:	Qualità E6/EV1 (decapaggio opaco e anodizzato naturale)
Strato ossidazione anodica:	In base al DIN 17611 Classe 10
Durezza ossidazione anodica:	Aprox. 250HV

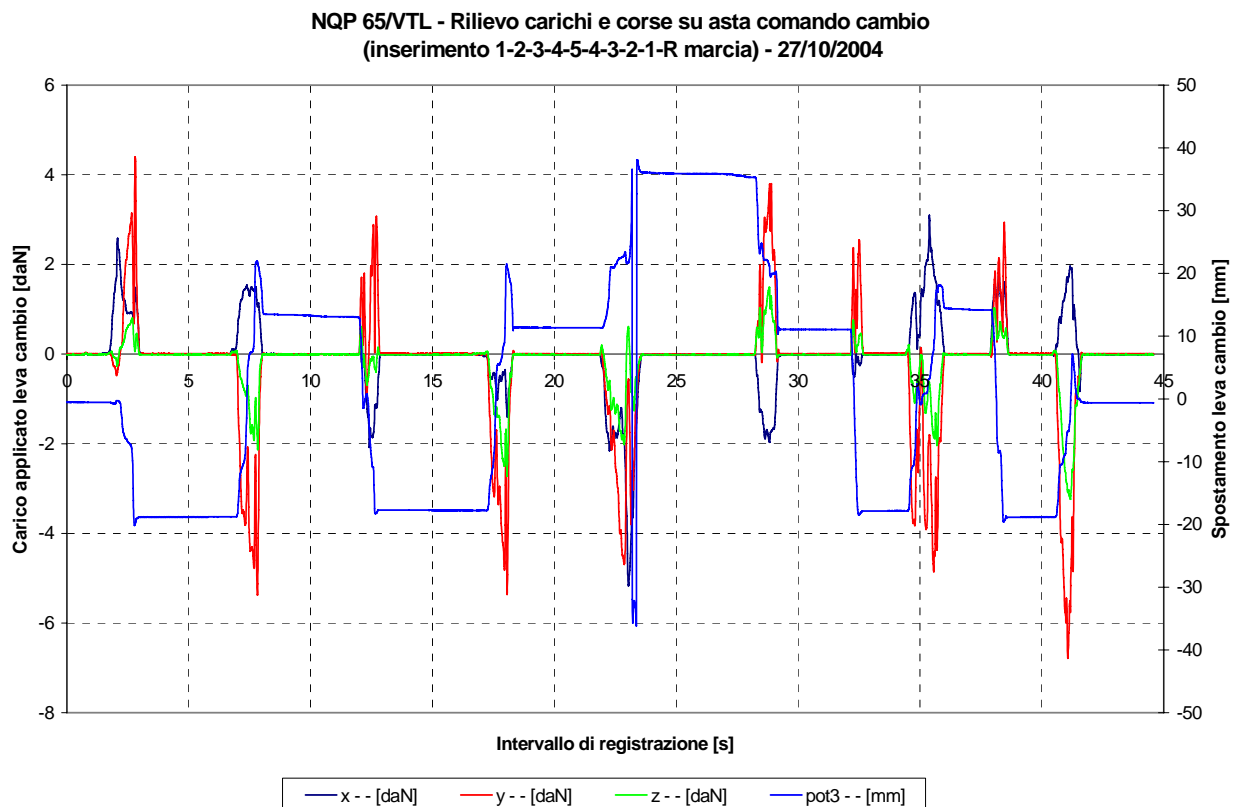
I profilati sono realizzati e collaudati secondo le norme DIN 17615 Parte 1 (condizioni termiche di fornitura) e 17615 Parte 3 (tolleranze ammesse).

## 3.1. Verifiche statiche

Tutte le verifiche statiche sono state eseguite tramite simulazioni Ansys, e i risultati così ottenuti sono stati confrontati con calcoli manuali, per riscontrare la corretta impostazione delle simulazioni.

### 3.1.1. Analisi dei carichi

I carichi che vengono applicati alle varie strutture, sono stati rilevati con apposite strumentazioni di misura. Per quanto riguarda i carichi da applicare alla leva del cambio, si riporta nella figura 3-1 il diagramma risultante dalla misurazione effettuata.



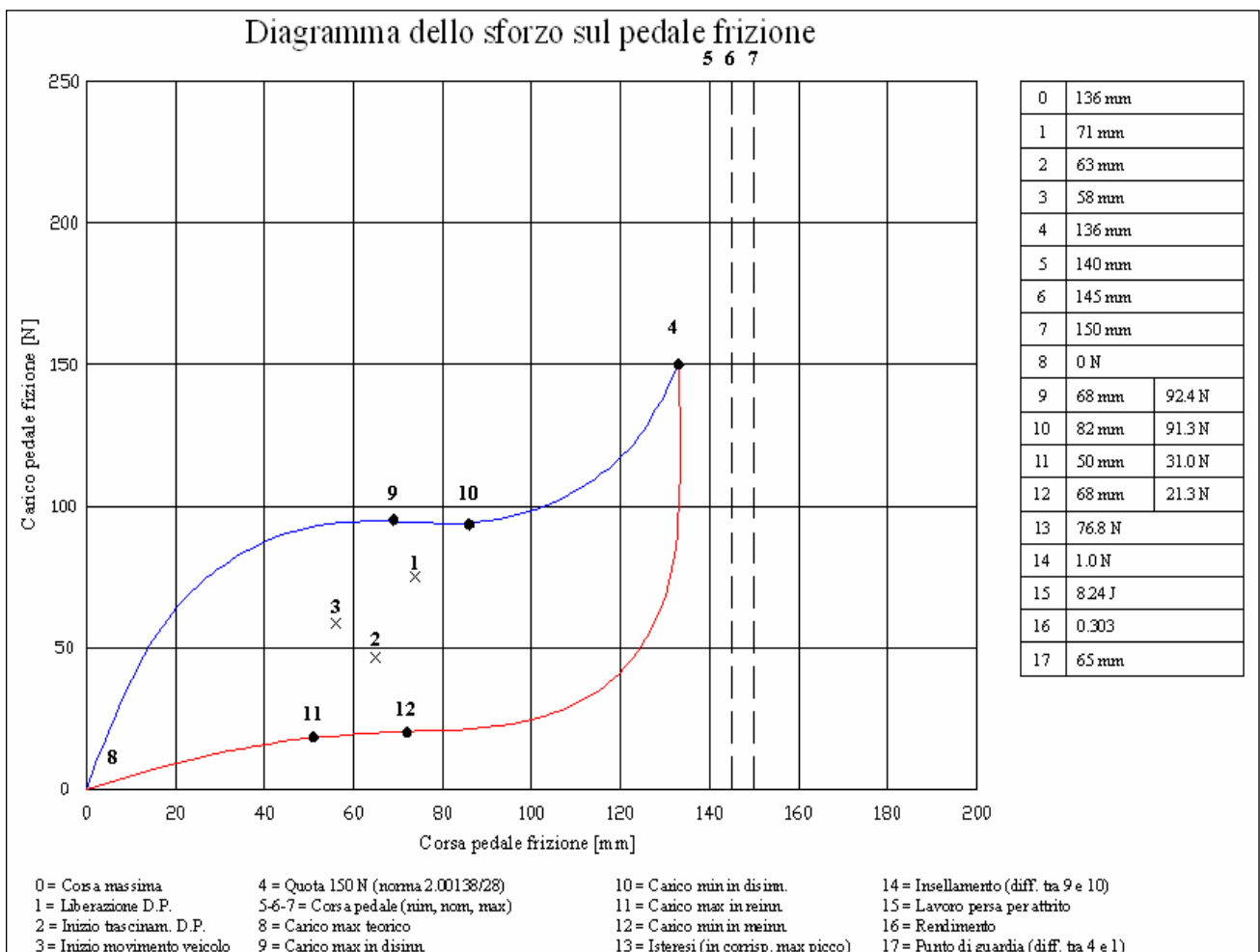
**Figura 3-1 Rilievo carichi e corse su asta comando cambio.**

Da tale diagramma possiamo dedurre i carichi massimi che devono essere applicati alla leva del cambio, riportati nella tabella 3-2. È da osservare che la  $F_z$  è dovuta alla pressione del palmo della mano dell'operatore durante lo svolgimento del test, nell'azionare la leva del cambio. Quindi ai fini della verifica strutturale non è di nostro interesse. Dalla figura 3-1 si può osservare che l'escursione massima (spostamento) della leva del cambio è di 100 mm, nel caso del veicolo testato. Per avere una più chiara visione delle direzioni di tali carichi si può far riferimento alla figura 2-6. In

particolare,  $F_x$  ha la direzione del senso di marcia del veicolo.  $F_y$  perpendicolare a  $F_x$  in un piano parallelo al suolo.  $F_z$  perpendicolare a  $F_x$  e  $F_y$ .

**Tabella 3-2 Carichi Max da applicare alla leva del cambio.**

Carico	Valore Max [N]
$F_x$	50
$F_y$	70
$F_z$	30



**Figura 3-2 Carico da applicare sul pedale della frizione**

Per quanto riguarda i carichi applicati ai pedali del veicolo, si riporta in figura 3-2 il diagramma Carico/Corsa da applicare al pedale della frizione. Da esso si evince facilmente che il carico massimo da applicare al pedale si ha in corrispondenza del totale schiacciamento dello stesso ed è pari a 15 daN. Il carico massimo da applicare al pedale dell'acceleratore è stato misurato tramite un dinamometro e risulta pari a 6,5 daN.

### 3.1.2. Modulo Gestione Pedaliera

Come già ampiamente discusso, il modulo per la gestione della pedaliera deve “schiacciare” il pedale della frizione e dell’acceleratore. I carichi da applicare sui rispettivi pedali sono riportati in tabella 3-3.

Tabella 3-3 Carichi da applicare ai pedali.

	Carico Max [N]	Carico di verifica [N]
Pedale Frizione	150	200
Pedale Acceleratore	65	200

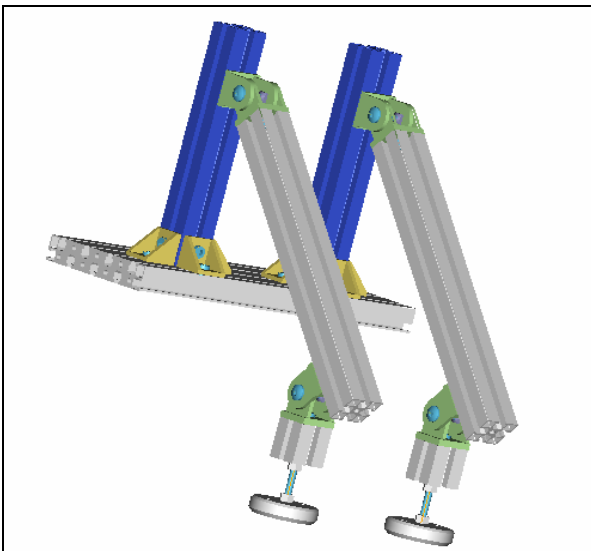


Figura 3-3 Struttura Modulo Pedaliera.

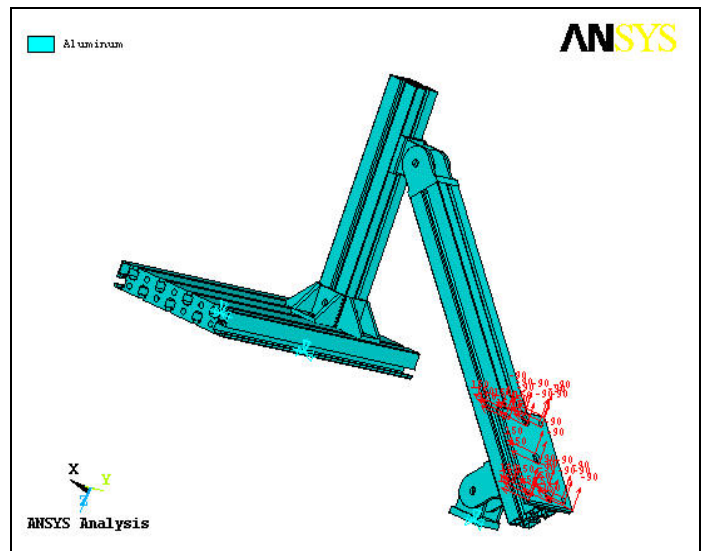


Figura 3-4 Vincoli e carichi applicati alla struttura.

Per come si è sviluppata la struttura portante del modulo (fig. 3-3), sfruttando la sua simmetria, basta verificare la parte di struttura maggiormente sollecitata, ossia quella su cui va montato l’attuatore del pedale della frizione (fig. 3-4).

Come si evince dalla figura, si è vincolato al telaio le due superfici inferiori della base, e la superficie inferiore della cerniera a cui va montato il piede. Alla flangia di calettamento del motore lineare si è applicato i carichi che andranno a sollecitare questa parte di struttura. Nelle Tabelle 3-4, 3-5, si riportano i risultati di tale verifica, che si possono visionare in dettaglio nell’allegato A: Verifiche strutturali del modulo gestione pedaliera.

**Tabella 3-4 Stress Intensity and Equivalent Stress**

<b>Stress Intensity and Equivalent Stress [ MPa ]</b>		
	<b>Stress Intensity</b>	<b>Equivalent Stress</b>
<b>Minimum</b>	5.10385E-08	4.80157E-08
<b>Maximum</b>	5.2429	5.1577

**Tabella 3-5 Displacements.**

<b>Displacements [ mm ]</b>				
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Vector Sum</b>
<b>Maximum</b>	1.26383E-02	1.28317E-03	-1.08671E-02	1.28204E-02

Confrontando i valori delle caratteristiche di sollecitazione così ottenuti, con le caratteristiche meccaniche dei profilati d'alluminio utilizzati, riportati in tabella 3-1, si evince che la struttura è ampiamente verificata.



### 3.1.3. Modulo Gestione Leva del Cambio

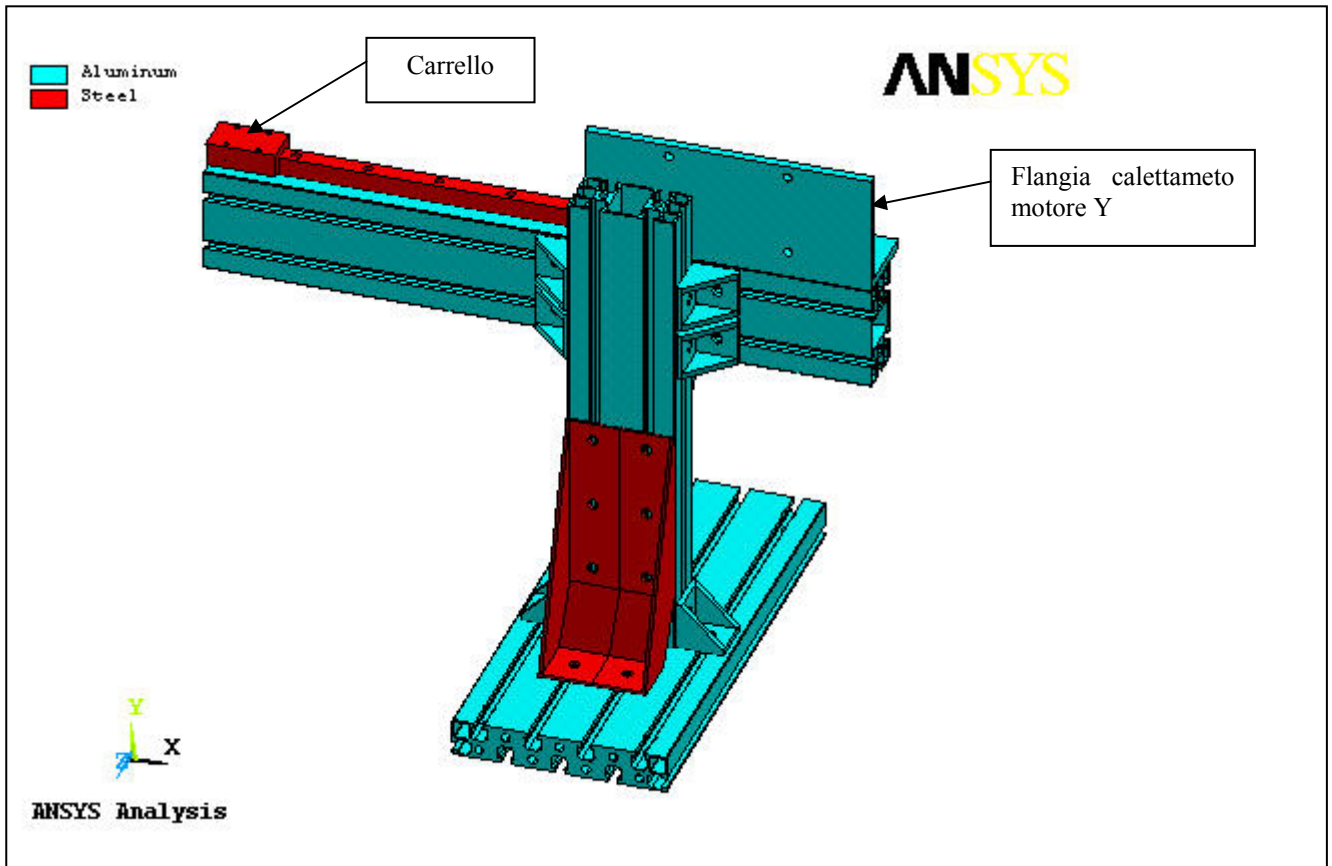


Figura 3-5 Struttura a bandiera del modulo gestione pedaliera

I carichi che vengono trasmessi alla struttura tramite la leva del cambio (nel caso di variatore discreto) sono riportati qui di seguito nella tab. 3-6, in essa si riportano anche i carichi utilizzati nella verifica (incrementati per una maggiore sicurezza).

Tabella 3-6 Carichi esercitati dalla leva del cambio (sistema di riferimento di fig. 3-5).

	Carico Max [N]	Carico Utilizzato [N]
Direzione X	70	100
Direzione Z	50	100

Per com'è stata sviluppata la soluzione della struttura, per eseguire le verifiche strutturali, ci mettiamo nelle condizioni di maggiore criticità, ovvero quando il carrello della guida lineare su cui va montato il motore X si trova all'estremità della trave. In questa posizione dobbiamo considerare due condizioni di carico:

- 1) Quando si deve innestare una marcia in tale posizione (Prima, o seconda)
- 2) Spostamento del motore Y per eseguire l'oscillazione della leva del cambio, dalla posizione di neutro, a quella della "preselezione" della prima o seconda marcia.

Quindi dobbiamo eseguire due verifiche con le seguenti condizioni di carico d'applicare al carrello della guida lineare, riportati nella tabella 2-6.

**Tabella 3-7 Carichi Utilizzati nelle verifiche.**

	Carico [N]	Momento [Nm]
Verifica 1	$F_z = 100$	$^{10}M_x = 10$
Verifica 2 <sup>11</sup>	$F_x = 100$	$M_y = 22$

Si riportano qui di seguito i risultati delle verifiche, in cui si evince che la struttura resiste a tali carichi senza alcun problema. Tali verifiche si possono visionare in dettaglio nell'allegato B: Verifiche strutturali del Modulo Gestione Cambio, condizioni di carico 1, e nell'allegato C: Verifiche strutturali del Modulo Gestione Cambio, condizioni di carico 2.

## VERIFICA 1:

**Tabella 3-8 Displacements.**

<b>Displacements [ mm ]</b>				
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Vector Sum</b>
<b>Maximum</b>	-6.81385E-02	-4.42472E-02	0.44208	0.44618

<sup>10</sup> Dovuto alla non planarità tra il punto di applicazione del carico e la superficie superiore del carrello.

<sup>11</sup>  $F_x$  applicata alla flangia di calettamento del motore Y,  $M_y$  applicata al carrello.

**Tabella 3-9 Stress Intensity and Equivalent Stress**

<b>Stress Intensity and Equivalent Stress [ MPa ]</b>		
	<b>Stress Intensity</b>	<b>Equivalent Stress</b>
<b>Minimum</b>	7.08752E-08	6.77066E-08
<b>Maximum</b>	27.631	24.391

**VERIFICA 2:**

**Tabella 3-10 Displacements.**

<b>Displacements [ mm ]</b>				
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Vector Sum</b>
<b>Maximum</b>	-2.76946E-02	-1.50580E-02	0.20814	0.21011

**Tabella 3-11 Stress Intensity and Equivalent Stress**

<b>Stress Intensity and Equivalent Stress [ MPa ]</b>		
	<b>Stress Intensity</b>	<b>Equivalent Stress</b>
<b>Minimum</b>	3.42065E-08	3.05664E-08
<b>Maximum</b>	33.430	29.041

Confrontando i valori delle caratteristiche di sollecitazione così ottenuti, con le caratteristiche meccaniche dei profilati di alluminio utilizzati, riportati in tabella 3-1, si evince che la struttura è ampiamente verificata.

## 3.2. Verifiche a Fatica

Per i due moduli della cella automatizzata occorre una verifica di resistenza a fatica delle strutture portanti, visto che devono eseguire per ogni singola prova un numero di cambiate pari a 80000, i carichi ad essi applicati risultano pertanto affaticanti.

Andiamo ora a calcolare il limite di fatica in base alle caratteristiche meccaniche del materiale dei profilati, riportati in tabella 3-1.

Il limite di fatica si calcola tramite l'equazione 3-1, che si riporta qui di seguito.

### Equazione 3-1

$$S_n = S_n' * C_L * C_G * C_S$$

In cui:

$S_n'$  Limite di fatica secondo R.R. Moor;

$C_L$  Fattore di carico<sup>12</sup>;

$C_G$  Fattore per il gradiente di tensione;

$C_S$  Fattore di finitura supersiciale

I valori numerici di tali fattori, nel nostro caso specifico, sono riportati in tabella 3-12.

**Tabella 3-12 Coefficienti vari.**

Coefficiente	Valore
$C_G$	0.9
$C_S$	0.8

Per quanto riguarda il limite di fatica  $S_n'$ , dobbiamo fare alcune considerazioni: essendo il materiale alluminio, e come sappiamo esso non presenta una “ginocchio” ben definito nel diagramma “Resistenza a fatica (S)/Numero di cicli (N)”. Quindi, in mancanza di un limite di fatica, si fa uso della resistenza a fatica per  $5 \times 10^8$  cicli. Per tipiche leghe di alluminio per deformazioni plastiche, la resistenza a fatica per  $5 \times 10^8$  cicli risulta correlata con la resistenza a trazione, si riporta tale diagramma in figura 3-6.

---

<sup>12</sup>  $C_L = 1$  per Flessione e Trazione;  $C_L = 0.58$  per Torsione

La lega di alluminio 6060 UNI 3569 presenta un carico di rottura a trazione  $\sigma_R = 310$  MPa, entrando con questo valore nel diagramma di figura 3-6 (linea blu) si evince che il valore di  $S_n = 124$  MPa.

Sostituendo tali valori nell'equazione 3-1, si ottiene:

**$S_n = 89.3$  MPa** Per sollecitazione flessionale;

**$S_n = 51.8$  MPa** Per sollecitazione torsionale.

Confrontando tali valori con le sollecitazioni indotte dai carichi nell'analisi statica del capitolo precedente, riportati nella tabella 3-4 per la struttura del modulo gestione pedaliera, e nelle tabelle 3-9, 3-11 per la struttura del modulo gestione cambio, si evince che tale limite di fatica è ampiamente superiore alle tensioni che si sviluppano all'interno delle due strutture.

In conclusione, le strutture portanti dei due moduli risultano verificate a fatica.

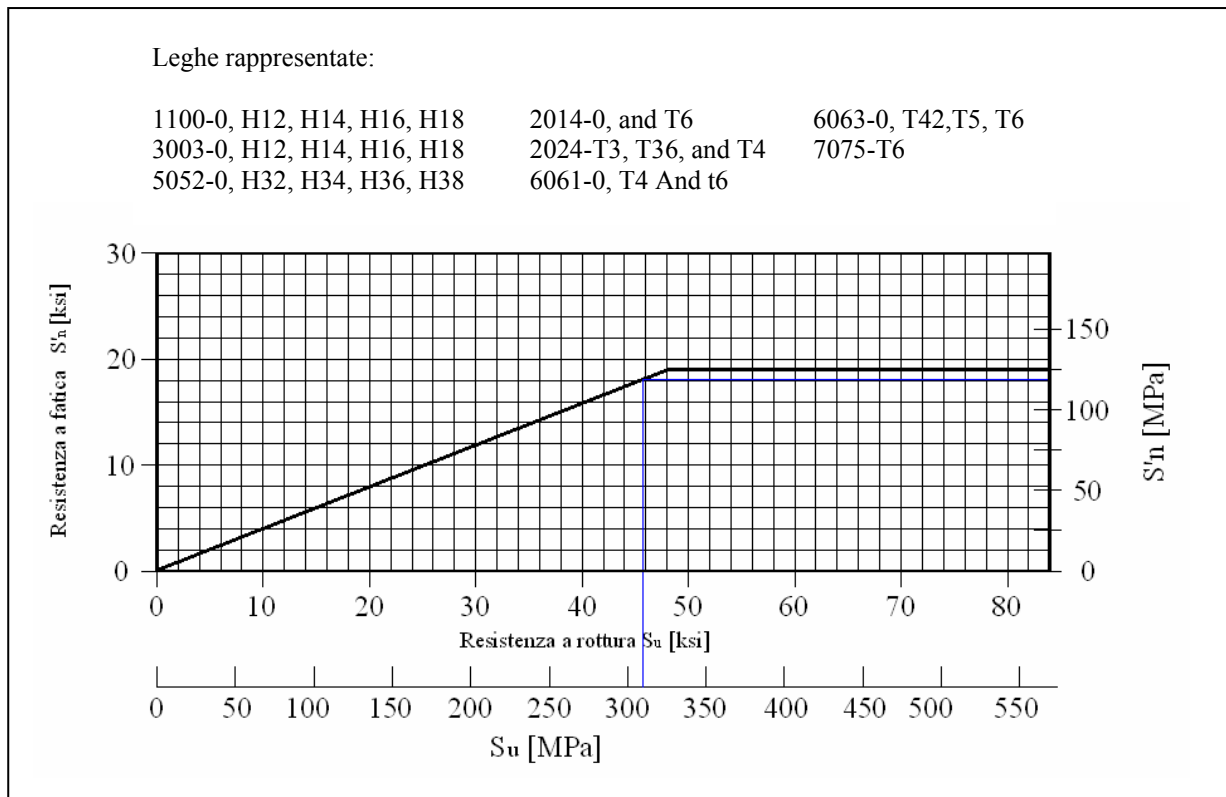


Figura 3-6 Resistenza a fatica per  $5 \times 10^8$  cicli per alcune leghe di alluminio per deformazione plastica.

### 3.3. Coppie di Serraggio viti

Analizzando i disegni di assieme del modulo gestione pedaliera, riportato nell'allegato D, e del modulo gestione cambio nell'allegato E, si osserva che sono utilizzati solo 4 tipologie di viti, riportati in tabella 3-13, per il suo assemblaggio. Qui di seguito andiamo a calcolarci le coppie di serraggio (T) che devono essere applicate a tali viti nella fase di montaggio dei due moduli.

**Tabella 3-13 Tipologie di viti impiegate.**

Vite UNI 9327 M8 - 8.8
Vite UNI 9327 M6 - 8.8
Vite UNI 9327 M4 - 8.8
Vite UNI 5933 M6 - 8.8

Per calcolare la coppia di serraggio si utilizza l'equazione 3-2, riportata qui di seguito.

**Equazione 3-2**

$$T = 0.2 * F_i * d$$

In cui:

**F<sub>i</sub>** Forza di precarico bullone;

**d** Diametro Nominale Filettatura.

Il calcolo della F<sub>i</sub> si esegue tramite l'equazione 3-3.

**Equazione 3-3**

$$F_i = 0.9 * A_t * S_p$$

In cui:

**A<sub>t</sub>** Sezione resistente della filettatura [mm<sup>2</sup>];

**S<sub>p</sub>** Limite di Precarico [MPa].

Utilizzando le equazioni 3-2, 3-3, con i valori delle varie grandezze necessarie per il loro calcolo, si riporta il valore della coppia di serraggio per le varie tipologie di viti utilizzate nella tabella 3-14.

**Tabella 3-14 Coppie di serraggio per le varie tipologie di viti utilizzate.**

Vite	A <sub>t</sub> [mm <sup>2</sup> ]	S <sub>p</sub> [MPa]	F <sub>i</sub> [N]	D [mm]	T [Nmm]
Vite UNI 9327 M8	36.6	600	19764	8	31622
Vite UNI 9327 M6	20.1	600	10854	6	13025
Vite UNI 9327 M4	8.7	600	4698	4	3758
Vite UNI 5933 M6	20.1	600	10854	6	13025

## **4. Programmazione della Cella**

### **4.1. Generalità**

In questo capitolo affronteremo la parte riguardante la programmazione della cella automatizzata. La programmazione riguarda i vari motori lineari che devono essere gestiti e comandati in base allo stato di determinate variabili, in modo tale da gestire il veicolo per poter eseguire le varie sequenze di cambiate delle marce, così da svolgere tutto quello che si esegue sulla pista per verificare a fatica il gruppo cambio secondo la Normativa Fiat 7-T4147. Si riportano i punti salienti di tale normativa per effettuare la verifica di un veicolo munito di cambio discreto a cinque rapporti con disposizione ad H. Questo sarà il nostro caso di maggiore interesse ma estendibile anche a veicoli con variatore continuo. Per sollecitare maggiormente il cambio si deve eseguire una sequenza d'innesto delle marce si fatta: 1-2-3-4-5-3-2-3-4-3-2-1, fino a raggiungere una totalità di 60000 cambiate. Poi si eseguono 20000 innesti della retromarcia. Per avere un riscontro statistico dei risultati ottenuti, tale prova deve essere ripetuta su tre veicoli montanti la stessa tipologia di cambio. Per sollecitare maggiormente il cambio, per selezionare una marcia inferiore, si fa rallentare il veicolo esclusivamente tramite il freno motore. Un'altra specifica della normativa Fiat è quella di eseguire la selezione di una marcia superiore in corrispondenza del numero di giri del motore in cui viene erogata la potenza massima, invece la selezione di una marcia inferiore in corrispondenza del numero di giri del motore in cui viene erogata la coppia massima. Da questa breve introduzione sulla normativa Fiat s'intuisce facilmente che la variabile di maggior rilievo per la programmazione è proprio il numero di giri del motore, fondamentale per individuare il momento in cui far eseguire una selezione di una nuova marcia alla nostra struttura automatizzata, gestendo il modo opportuno il modulo della pedaliera e il modulo della leva del cambio.

Prima di descrivere la programmazione della cella automatizzata, introduciamo le caratteristiche peculiari dei motori lineari, per meglio comprendere la loro gestione e come dovranno essere programmati. Si fa osservare che il banco a rulli su cui si esegue la prova ha già un suo modulo di controllo, questo comporta che la programmazione che andremo a fare si deve integrare con le specifiche di questo modulo, per poter gestire nella sua totalità l'intera cella automatizzata.

## 4.2. Caratteristiche dei motori lineari

I motori lineari, riportati in figura 4-1, sono provvisti di un loro modulo di controllo, figura 4-2, il quale, tramite un software dedicato, fornito dalla ditta produttrice, viene programmato per far eseguire la corsa al motore controllandolo in forza o in velocità. Il controllo in forza consiste nel programmare la forza che dovrà esercitare costantemente il motore durante la corsa. Il controllo in velocità invece, consente di programmare il profilo della velocità dello slider durante la sua corsa. Questo secondo caso è quello di nostro interesse, in quanto sia il pedale della frizione, che quello dell'acceleratore devono rispettare un profilo corsa/velocità ben preciso.



Figura 4-1 Motore lineare della LitMot con e senza flangia di raffreddamento.

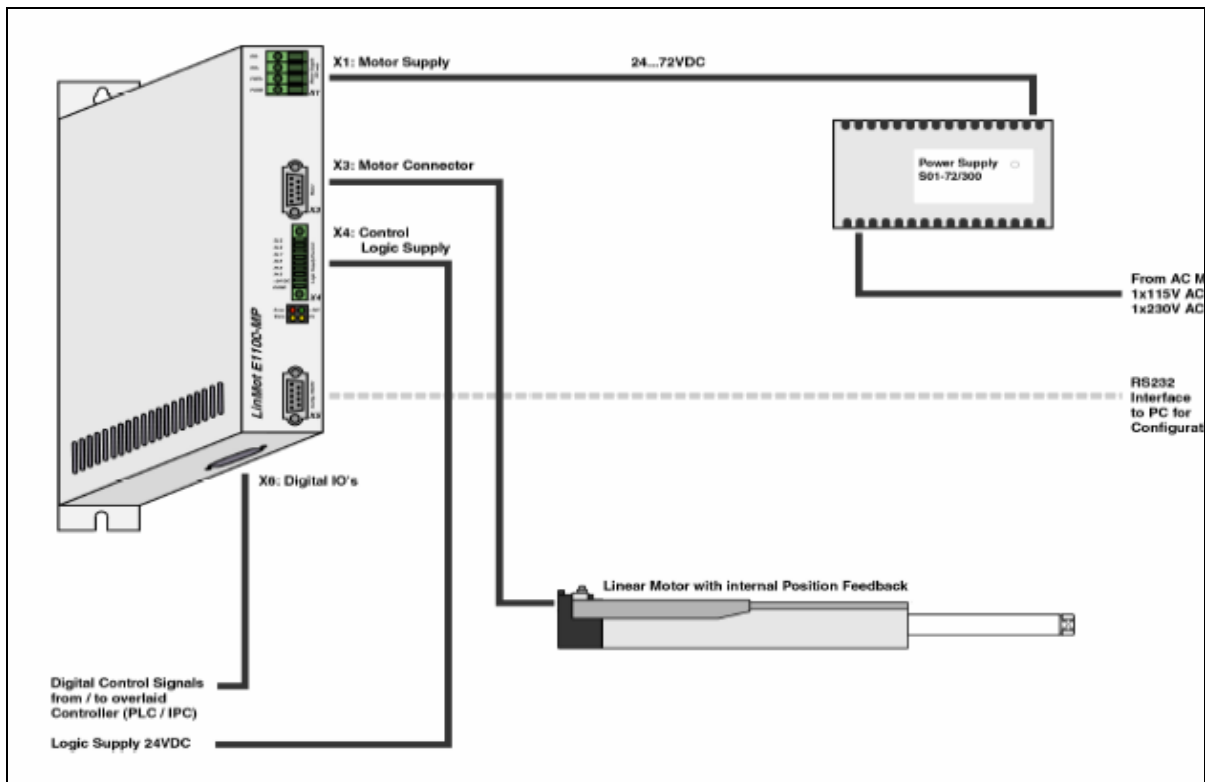


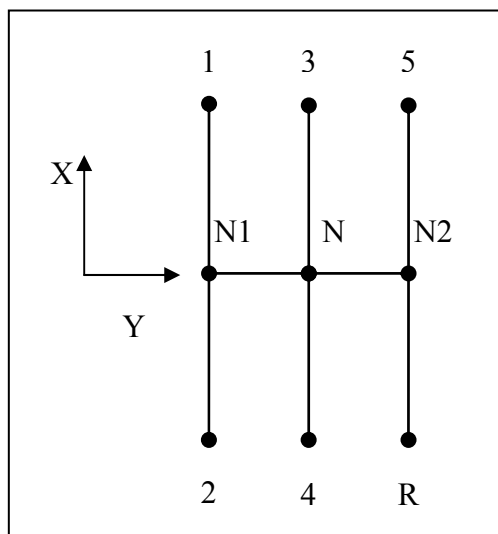
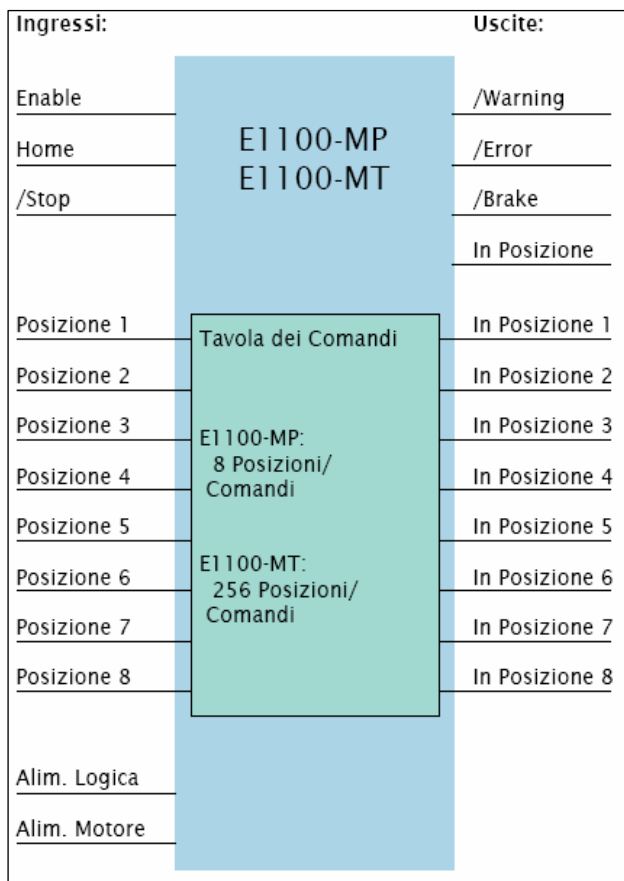
Figura 4-2 Complete Multi Position Servo System E1100- MP Servo Controller, Linear Motor and Power Supply



Per poter individuare i punti che devono essere raggiunti all'interno della corsa dei motori lineari, i moduli di controllo sono provvisti di una modalità d'apprendimento. In modo apprendimento (teach in) il modulo viene portato manualmente o mediante il jog nella posizione voluta. La posizione ottenuta viene memorizzata mediante l'attivazione del pulsante "teach". Quindi sfruttando tale peculiarità dei motori lineari, una volta installati i moduli all'interno dell'abitacolo, risulta molto facile individuare i punti da memorizzare, muovendo manualmente la leva del cambio e i pedali. Il modulo di controllo è provvisto d'ingressi e uscite per la loro gestione, come si vede in fig. 4-4. Il sistema viene messo in funzione con gli ingressi di controllo "Enable" e "Home". In funzionamento, le posizioni memorizzate nella tavola dei comandi possono essere richiamate mediante l'attivazione degli ingressi "Posizioni 1-8". Gli 8 ingressi corrispondono alle 8 posizioni/comandi. Se l'ingresso "Stop" viene disabilitato, il controllore decelera fino a velocità zero, poi il motore lineare viene spento. Ciò garantisce che il motore non arrivi al fermo meccanico. Non appena il motore lineare raggiunge la posizione desiderata, vengono attivate l'uscita comune "In position" e l'uscita specifica "In Position 1-8". L'uscita "Warning" inoltre può essere usata per la diagnostica del modulo. Questa uscita indica che il modulo sta ancora lavorando, ma la meccanica dovrebbe essere controllata per assicurare operazioni senza problemi. L'uscita "/Error" diviene attiva quando l'azionamento è in stato d'errore (motore non funzionante). L'uscita "/Brake" può invece controllare una unità di frenatura meccanica. Questa uscita è sempre attiva a motore è spento. Per la nostra applicazione, dobbiamo prendere in considerazione gli ingressi e uscite riportate nella tab. 4.1.

**Tabella 4-1 Ingressi/Uscite dei moduli di controllo dei motori lineari da considerare nella programmazione.**

<b>Ingressi</b>	<b>Uscite</b>
Enable	Warning
Home	Error
Stop	In Posizione
Posizione 1÷3	In Posizione 1÷3



**Figura 4-4 Schema cambio discreto a 5 rapporti con disposizione ad H**

**Figura 4-3 Input/Output Modulo di controllo motori lineari.**

Se si analizza la schematizzazione di un cambio discreto a cinque rapporti con disposizione ad H, vedi figura 4-4, si evince che per il motore lineare agente lungo l'asse X, si devono memorizzare solo tre posizioni (1, N1, 2), e analogamente per il motore lineare agente nella direzione Y (N1, N, N2), e grazie alla combinazione dei movimenti sequenziali dei due motori, riusciamo a selezionare qualsiasi marcia noi vogliamo.

Per quanto riguarda i motori lineari per la gestione della pedaliera, per la loro programmazione sono necessarie memorizzare solo due posizioni, una in corrispondenza del pedale libero, e l'altra in corrispondenza del pedale totalmente schiacciato.

### 4.3. Programmazione

La programmazione dei vari moduli di controllo è stata realizzata tramite il software «LabView», della National Instruments. Per interfacciare l'unità di governo con i vari moduli di controllo dei motori lineari si utilizza una "Scheda di acquisizione dati" (DAQ), sempre della National Instruments, e più precisamente la: NI PCI-6224, M Series DAQ (32 Analog Inputs, 48 Digital I/O)<sup>13</sup>. Nella fig. 4-5 è riportato il pannello di comando, creato tramite LabView, con cui l'operatore può controllare e gestire i moduli della struttura automatizzata.

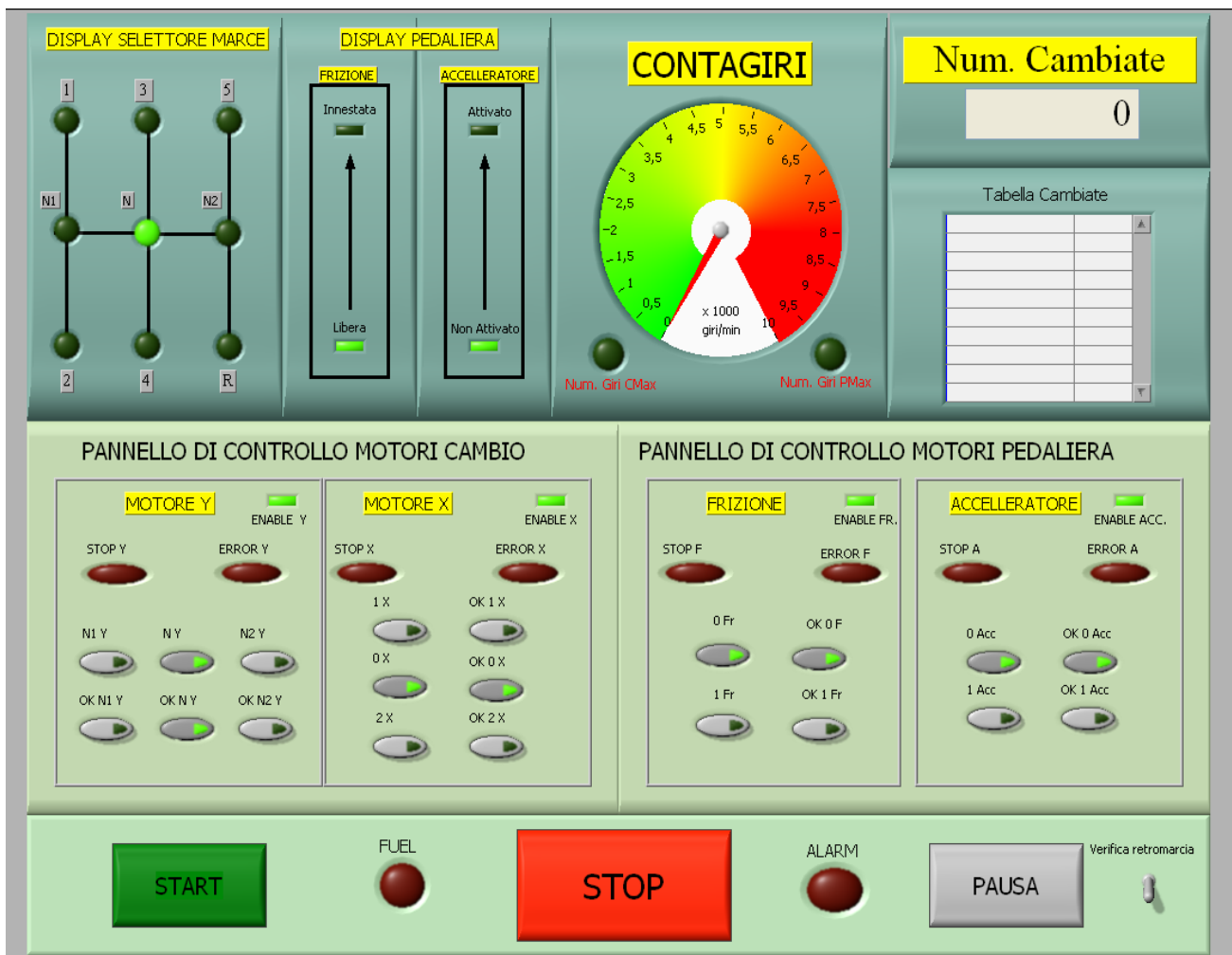


Figura 4-5 Pannello di comando della Cella Automatizzata.

Nella tabella 4-2 sono elencati i vari elementi che costituiscono tale pannello con la relativa descrizione.

<sup>13</sup> Le specifiche tecniche sono riportate nell'allegato F

Tabella 4-2 Descrizione del pannello di controllo.

Elemento	Descrizione
<b>Display Selettore Marce</b>	Display su cui è possibile visionare in tempo reale la marcia innestata.
<b>Display Pedaliera</b>	Display su cui è possibile visionare in tempo reale la posizione del pedale della frizione (Libera/Innestata), e del pedale dell'acceleratore (Non Attivo/Attivo).
<b>Contagiri</b>	Indica in tempo reale il numero di giri del motore, ed è munito di due spie luminose che si attivano una in corrispondenza della coppia massima erogabile dal motore, e l'altra quando ci troviamo in condizione di potenza massima erogabile dal motore. Ovviamente questi due valori vanno indicati nella programmazione in base alle caratteristiche della motorizzazione del veicolo in prova.
<b>Num. Cambiate</b>	Indica la totalità del numero di cambiate effettuate. Quando si eseguono 60000 cambiate il programma si ferma, avvisa l'operatore tramite un messaggio, alla risposta affermativa, automaticamente viene attivata la procedura per eseguire le restanti 20000 cambiate in retromarcia. Quando si totalizzano le 80000 cambiate avvisa l'operatore con un messaggio che la prova è terminata e arresta il programma.
<b>Tabella Cambiate</b>	Indica la data, l'ora e il numero dell'ultima cambiata effettuata. Questa tabella viene salvata in un file per avere un registro dell'esecuzione della prova.
<b>Pannello di Controllo Motori Cambio</b>	Indica lo stato dei motori lineari X e Y che gestiscono lo spostamento della leva del cambio. Si fa osservare che per tali motori abbiamo la necessità di avere tre posizioni memorizzate nel modulo di controllo dei motori lineari, che andranno richiamate in base alla marcia che dovrà essere inserita.
<b>Pannello di Controllo Motori Pedaliera</b>	Indica lo stato dei motori lineari Frizione e Acceleratore che vanno a schiacciare i rispettivi pedali. Si fa osservare che per tali motori abbiamo la necessità di avere solo due posizioni memorizzate nel modulo di controllo dei motori lineari, posizione 0 indica pedale libero, posizione 1 indica che il pedale è schiacciato.
<b>START</b>	Lanciato in esecuzione il programma, lo stato iniziale dei vari motori corrisponde alla situazione raffigurata in fig. 5, ossia: la leva del cambio nella posizione di "Folle", e la pedaliera libera. Lanciando questo comando si fa iniziare la prova e si passa dalla posizione di folle a quella della prima marcia.
<b>STOP</b>	Blocca in ogni istante l'esecuzione del programma. I dati rilevati fino a quel momento non vanno persi, ma rimangono memorizzati nei vari contatori presenti nella programmazione.
<b>PAUSA</b>	Qualsiasi sia la marcia inserita nel momento in cui viene attivato questo pulsante, si attiva la procedura che mette il cambio in folle, e si disattivano i motori lineari.
<b>FUEL</b>	Spia luminosa che si attiva quando il veicolo in prova va in riserva di carburante. Quindi si consiglia un rifornimento del veicolo in breve tempo.
<b>ALARM</b>	Spia che si attiva quando l'unità di controllo del banco a rulli invia questo segnale. La sua attivazione lancia automaticamente il comando PAUSA descritto in precedenza.
<b>Verifica Retromarcia</b>	Selettore che attiva la procedura di verifica della retromarcia.

La programmazione dei vari moduli è stata strutturata in modo tale che, quando si lancia in esecuzione il programma, il modulo della gestione del cambio si porta nella posizione di "folle", e il modulo della pedaliera è a riposo, ossia i pedali risultano liberi. Schiacciando il tasto "START", inizia l'esecuzione della prova, con le seguenti operazioni:

- Innesso della frizione
- Spostamento della leva del cambio per selezionare la prima marcia

- Disinnesto della frizione, contemporaneo all'azionamento dell'acceleratore<sup>14</sup>.

Tramite la lettura del numero di giri del motore, quando si giunge all'erogazione della potenza massima, si attiva la procedura per selezionare la seconda marcia. Si susseguono le varie cambiate in modo da rispettare la sequenza imposta dalla normativa Fiat precedentemente illustrata.

La programmazione è stata impostata integrando le caratteristiche e la programmazione del banco a rulli già presente all'interno dell'azienda. In modo particolare si è curato l'aspetto della sicurezza durante lo svolgimento della prova. Dal pannello di comando primo esposto "cliccando" sul tasto STOP, si ottiene l'arresto immediato dell'esecuzione del programma, e l'attivazione dell'arresto di emergenza del banco a rulli. Ovviamente è possibile anche la procedura inversa con qualche particolarità in più. Attivando il pulsante d'arresto d'emergenza del banco a rulli, si manda il programma in PAUSA. Questo comporta l'immediato innesto della frizione del veicolo, il rilascio del pedale dell'acceleratore, e qualunque sia la marcia innestata in quel momento, la leva del cambio è portata nella posizione di folle. Quando il cambio si trova in questa posizione, viene rilasciata la frizione e disattivati tutti i motori lineari. Tale procedura non è attivata solo dal pulsante d'arresto d'emergenza del banco a rulli, ma anche dall'attivazione di qualsiasi sistema di sicurezza che comporta l'arresto del banco a rulli. Aspetto che sarà trattato nel capitolo successivo.

---

<sup>14</sup> L'acceleratore non viene attivato nel caso in cui la sequenza di marce da eseguire è in "scalata", per esempio 3-2-1.

## 5. Cella di Prova

La cella di prova è già disponibile presso la Piaggio, e attualmente è utilizzata per il controllo dei gas di scarico dei veicoli. L'attrezzatura è costituita dalle seguenti parti principali:

- Un banco a rulli
- Cabina di insonorizzazione
- Impianto di ventilazione
- Impianto pneumatico
- Sistema per l'analisi gas di scarico
- Sistema di controllo

All'interno della cella vi sono una serie di sensori sistemati in posizioni opportune che, nel caso di alterazioni nel corso della prova della posizione iniziale del veicolo, il sistema di controllo provvede ad interrompere il test.

Nei prossimi paragrafi andremo a discutere in dettaglio dei vari componenti e impianti della cella, focalizzando le varie normative in base alla quale è stata realizzata.

## 5.1. Banco a Rulli

Il banco a rulli è costituito dalle seguenti parti:

- Una struttura portante in carpenteria metallica
- Due assi di rotazione, su ciascuno dei quali sono calettati due rulli da 450 mm di larghezza
- Il motore e il sistema di trasmissione di movimento
- Un sistema di bloccaggio del veicolo
- Sensori e dispositivi di protezione e controllo.

La struttura portante è realizzata con tubi quadri e rettangolari saldati ed appoggia a terra per mezzo di sei supporti imbullonati al terreno. Il lato superiore della struttura è diviso nel senso della lunghezza da una passerella saldata, e i due vani così ottenuti sono divisi a metà da due ponti, realizzati con gli stessi tubi ed imbullonati alla struttura. Nelle quattro aperture così ottenute si affacciano i rulli sui quali verranno posizionati i veicoli in prova. Le porzioni delle aperture non occupate dal rullo sono coperte per mezzo di pedaline in ferro.

I due assi dei rulli sono collegati al motore per mezzo di trasmissioni a cinghia e possono ruotare in entrambi i sensi. La distanza tra i due assi può variare in maniera continua di 1100 mm, così che il banco può essere utilizzato per veicoli di passo variabile da 1600 a 2600 mm.

Il movimento può essere imposto ai rulli da un motore asincrono trifase da 22 kW, per mezzo di un inverter permette il controllo della velocità.

Il posizionamento del veicolo sui rulli è assicurato per mezzo di rullini folli che bloccano ciascuna ruota in senso laterale e longitudinale. I rullini per il bloccaggio laterale delle ruote sono orientabili, in modo da consentire sempre la condizione di rotolamento puro della ruota. La posizione dei rullini folli sul banco è regolabile.

## **5.2. Cabina di insonorizzazione**

La cabina è realizzata con pannelli in lamiera zincata di spessore 100 mm, riempiti all'interno con lana di roccia. Le dimensioni della cabina sono di 7000 x 4500mm, altezza 3000 mm. La porta d'accesso è larga 2500mm per permettere l'accesso dei veicoli. Due oblò sulla porta ed un terzo sulla parete laterale permettono di controllare l'andamento della prova.

Su entrambi i lati della cabina sono inoltre predisposti due sensori di prossimità. I sensori devono essere sistemati agli angoli del veicolo in modo tale che siano attivati non appena si ha uno spostamento del veicolo, per esempio a causa di una foratura o per il cedimento di un elemento strutturale. I sensori devono essere montati su supporti magnetici per mezzo di aste registrabili in modo da poter essere sistemati liberamente in qualsiasi posizione attorno al veicolo. È in generale opportuno piazzare i sensori utilizzando dei fori del telaio o carrozzeria, in modo che siano attivati da movimenti del veicolo in qualsiasi direzione.

Il rumore emesso dal banco a rulli durante il funzionamento è assolutamente trascurabile rispetto al rumore dovuto al funzionamento del veicolo e del ventilatore assiale per il suo raffreddamento. Il rumore effettivo all'interno della cabina è quindi molto variabile con il tipo di veicolo e della sua velocità durante la prova. In ogni caso all'esterno della cabina il rumore emesso è sempre inferiore ai 75 dB, come previsto dal D.L. 227/91.

## **5.3. Impianto di Ventilazione**

L'impianto di ventilazione all'interno della cella si può suddividere in due gruppi, uno per il ricambio d'aria all'interno della cabina, e l'altro per raffreddare il veicolo in prova.

L'aria dall'interno della cabina di prova, vedi figura 5-1, è estratta per mezzo di due ventilatore a doppia aspirazione da 22500 m<sup>3</sup>/h, dimensionati per garantire 50 ricambi totali d'aria ogni ora. In pratica, la totalità dell'aria all'interno della cabina viene cambiata in un minuto e dodici secondi, circa. La tubazione per l'aria estratta comprende un silenziatore ed una curva silenziata per portare l'aria esaurita all'esterno della cabina. L'intero sistema di estrazione è cassonato. Per non generare una depressione all'interno della cabina, vi sono delle condotte che alimentano l'aria fresca, immettendola dal basso della cabina.



La ventilazione del veicolo all'interno della cella è garantita da un ventilatore assiale con diametro di 0,8 m a velocità variabile, come illustrato nella figura 5-1. Esso riproduce la portata d'aria che la vettura riceverebbe in condizioni normali. In particolare, tale ventilatore è gestito dal controllo del banco a rulli che, in funzione della velocità del veicolo, varia il numero di giri del motore trifase del ventilatore, secondo i dati riportati in tabella 5-1, riproducendo così le stesse condizioni ambientali che si avrebbero sulla pista.

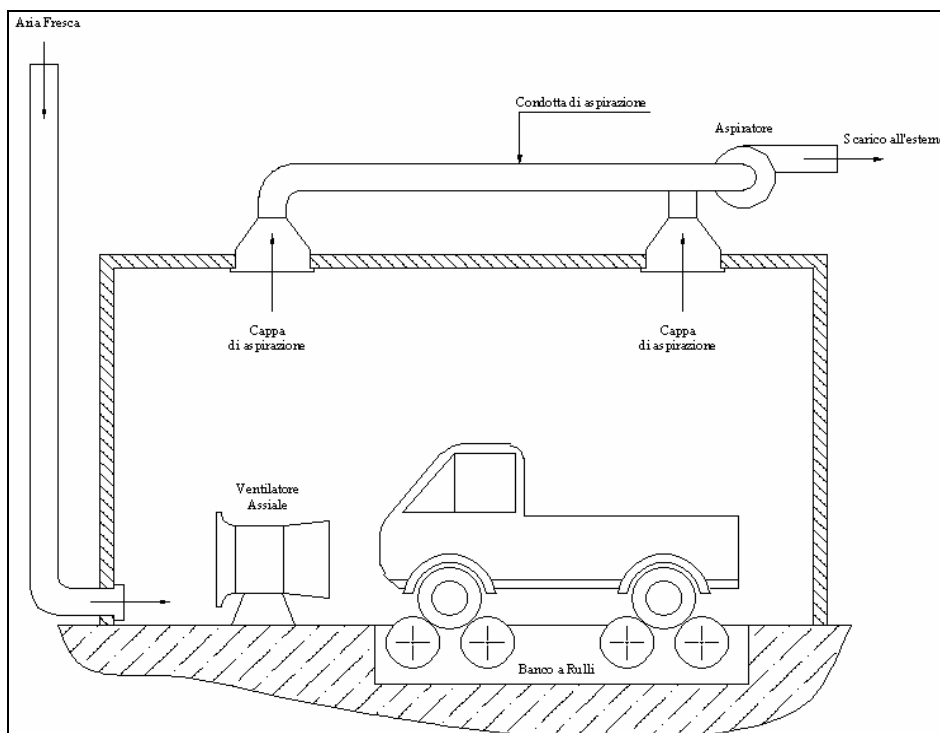


Figura 5-1 Schema Sistema di ventilazione cella.

Tabella 5-1 Portata erogata dal ventilatore assiale in funzione della velocità simulata del veicolo.

Q [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]	V [km/h]	A [m <sup>2</sup> ]	N [giri/min]	P <sub>erogata</sub> [Kw]
2.22	2.78	10	0.8	184	3
4.44	5.56	20	0.8	368	6
6.67	8.33	30	0.8	552	9
8.89	11.11	40	0.8	736	12
11.11	13.86	50	0.8	920	15
13.33	16.67	60	0.8	1104	18
15.56	19.44	70	0.8	1228	21
17.78	22.22	80	0.8	1472	24
20.00	25.00	90	0.8	1656	27
22.22	27.78	100	0.8	1840	30

## 5.4. Impianto Pneumatico

All'interno della cabina sono state predisposte quattro prese di collegamento all'impianto d'aria compressa aziendale. Questo per permettere l'uso di eventuali attrezzi ed accessori.

Collegate a tali prese, per mezzo di tubi flessibili, i due innesti rapidi alle estremità delle traverse disposte sul banco a rulli (vedi figura 5-3). Ciascuna traversa reca due gruppi di tre prese ad attacco rapido. A questi gruppi si collegano tre ugelli orientabili in corrispondenza di ciascuna ruota, orientati verso il pneumatico per permettere il suo raffreddamento durante l'esecuzione della prova. Ovviamente questo occorre solo alla coppia delle ruote motrici del veicolo.

L'impianto pneumatico di cabina è stato dimensionato per pressioni max. di 7 bar.

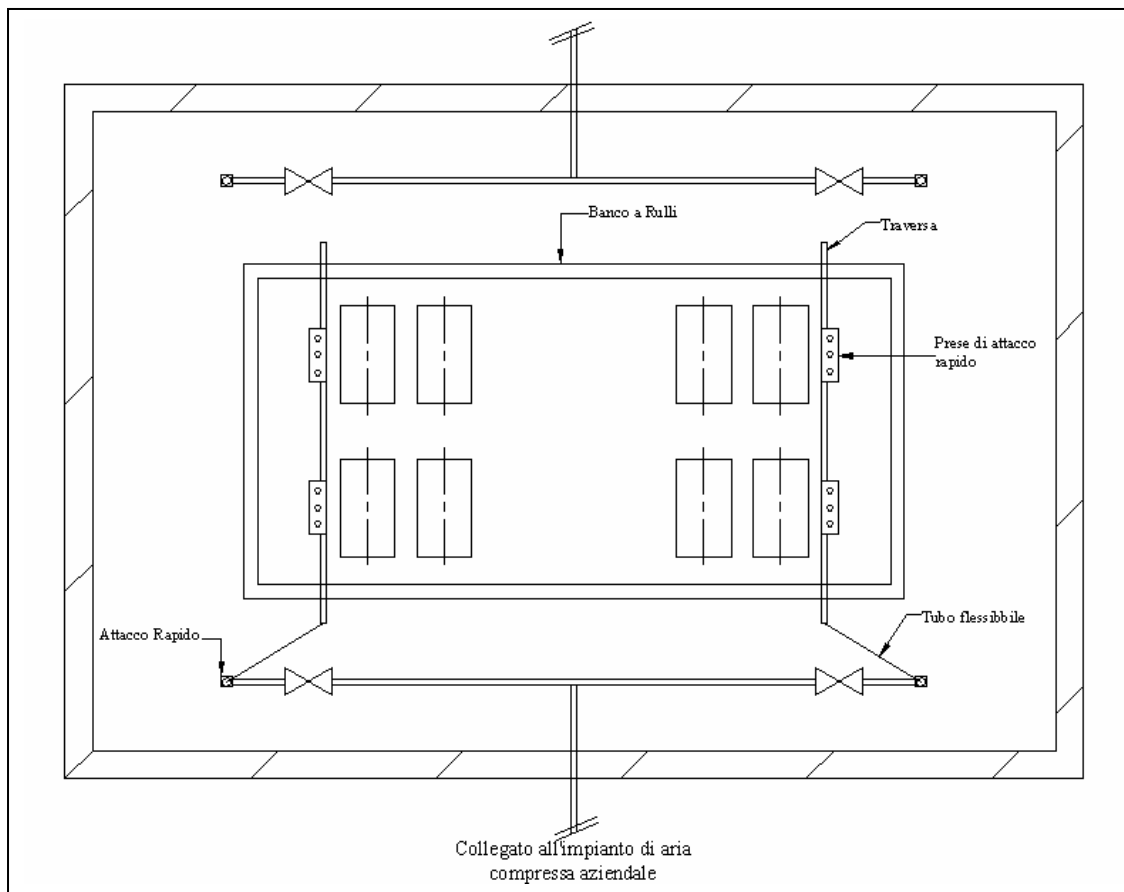


Figura 5-2 Schema Impianto Pneumatico

## **5.5. Relazione sui rischi**

### **5.5.1. Considerazioni generali**

Sono stati rispettati per la scelta delle soluzioni i seguenti criteri:

- a) Eliminazione o riduzione dei rischi nel miglior modo possibile, integrando le problematiche di sicurezza nella progettazione e nella costruzione della macchina;
- b) Adozione di opportune misure di protezione laddove i rischi non potevano essere eliminati;
- c) Informazione agli utilizzatori dei rischi residui dovuti all'eventuale inefficacia delle misure di protezione adottate.

Tutto ciò è stato considerato non solo in condizioni normali di funzionamento, ma anche in condizioni anomali seppur possibili di funzionamento.

La macchina è stata progettata e costruita tenendo conto dei principi dell'ergonomia, in modo da ridurre al minimo il disagio, la fatica e lo stress dell'operatore.

Essa è fornita delle attrezzature idonee e di tutti gli accorgimenti necessari per il suo uso e la sua regolazione in sicurezza, compresa l'illuminazione incorporata per l'agevole ispezione delle parti interne.

## 5.5.2. Comandi

I dispositivi di comando sono progettati e costruiti in modo da essere sicuri e affidabili. I dispositivi di comando di tipo elettrico sono tutti chiaramente visibili, immediatamente accessibili all'operatore e contrassegnati da indicazione di facile interpretazione. Essi sono organizzati in un unico pannello inserito sullo sportello dell'armadio che racchiude il quadro elettrico e le schede elettroniche della macchina. L'armadio elettrico è chiuso mediante una chiave e l'interruttore può essere bloccato nella posizione SPENTO. Tutti i dispositivi di comando sono: chiaramente visibili, individuabili e contrassegnati da apposita scrittura. In particolare, i pulsanti di avvio e di arresto di emergenza sono:

- Immediatamente accessibili, colorati rispettivamente di verde e rosso;
- Disposti in maniera da garantire una manovra sicura, univoca, e rapida;
- Situati fuori dalle zone pericolose;
- Situati in modo che il loro azionamento non provochi rischi supplementari;
- Tali da non poter essere azionati involontariamente.

Il comando di stop del funzionamento provoca l'arresto degli elementi mobili in tempi relativamente brevi e comunque compatibili con quelli necessari alle operazioni di apertura della porta della cabina e raggiungimento della zona pericolosa.

La macchina è munita del comando di arresto d'emergenza, situato sul quadro di comando in posizione facilmente accessibile, costituito da un dispositivo standard di colore rosso e giallo. La rimessa in marcia dopo un qualsiasi arresto d'emergenza è possibile solo se sono state ripristinate tutte le condizioni di sicurezza previste.

Qualsiasi interruzione o avaria del circuito di alimentazione provoca il blocco delle protezioni della macchina nella posizione di sicurezza, in qualsiasi condizione di funzionamento essa si trovi. Qualsiasi anomalia del funzionamento dei circuiti di comando non impedisce l'arresto della macchina mediante il dispositivo di emergenza.

Durante la prova sono continuamente indicati sul pannello di controllo:

- La temperatura all'interno della cabina
- La velocità del veicolo

Durante la prova nessun addetto deve rimanere all'interno della cabina.

### **5.5.3. Protezione contro i rischi meccanici**

La macchina è interamente racchiusa all'interno della cabina di prova. Tutti gli elementi accessibili della macchina sono privi, entro limiti consentiti dalle loro funzioni, di angoli acuti, spigoli vivi e di superfici rugose che possono provocare lesioni.

### **5.5.4. Caratteristiche delle protezioni e dei dispositivi di protezione**

Durante il funzionamento non sono presenti elementi mobili raggiungibili dalla postazione di controllo: tutti gli elementi mobili della macchina sono segregati all'interno della buca e della cabina. La porta della cabina è munita di un dispositivo di protezione che interrompe il funzionamento del banco non appena viene aperta la porta.

Il funzionamento del banco può essere controllato dall'esterno della cabina attraverso i due oblò sulla cabina e gli indicatori posti sul pannello di controllo della macchina; l'armadio contenente il quadro elettrico ed i circuiti è chiuso con una serratura a chiave e l'apertura dell'armadio provoca lo sgancio della rete elettrica.

## **5.5.5. Misure di protezione contro altri rischi**

### **5.5.5.1. Rischi dovuti all'energia elettrica**

La macchina è stata progettata, costruita ed equipaggiata in modo da prevenire rischi dovuti all'energia elettrica, secondo le norme vigenti.

La macchina è alimentata da energia elettrica mediante una piastra di connessione; è possibile sconnettere completamente la macchina mediante il selezionatore standard sul pannello di comando che può essere bloccato a chiave nella posizione di "spento". L'eventuale energia residua immagazzinata è dissipata mediante il collegamento a terra.

È possibile alimentare solo la parte relativa ai circuiti di comando, disabilitando l'alimentazione degli organi in movimento (inverter e motore), mentre l'alimentazione degli organi mobili non può prescindere dal funzionamento del sistema di controllo, a meno di manomissioni del sistema.

Il telaio della macchina è collegato a terra per prevenire la formazione di cariche elettrostatiche.

L'interruzione repentina dell'energia elettrica non compromette l'integrità della macchina né dei veicoli in prova.

L'impianto elettrico all'interno della cabina è conforme alla legge 46/90 e l'impianto elettrico a bordo del banco è conforme alla norma EN 60204.

### **5.5.5.2. Rischi di incendio**

La macchina è stata costruita evitando l'impiego di materiale facilmente infiammabile. Durante il funzionamento normale è previsto un lieve innalzamento della temperatura all'interno della cabina di prova causato essenzialmente dal veicolo in prova; per questo motivo sono stati predisposti all'interno della cabina sistemi di raffreddamento e di estrazione dell'aria oltre ad un sensore di temperatura riportato sul pannello di controllo. Il rischio d'incendio è reale e sono state prese le dovute precauzioni per la gestione dell'emergenza nel contesto aziendale, anche in relazione alle caratteristiche dei pannelli con i quali è fortuita la cabina. Per quanto riguarda l'impianto elettrico sono state rispettate le norme vigenti in materia.

Non è possibile utilizzare impianti con acqua, in quanto, all'interno della cella vi sono motori elettrici alimentati con tensione trifase, come i motori del banco a rulli, installati sotto il livello del pavimento, il ventilatore assiale, e poi si arrecherebbe un enorme danno a tutta la strumentazione di analisi dei gas di scarico. Per tale motivi, all'esterno della cella vi sono diversi estintori a polveri, come prevedono le normative vigenti. Visto che la cella comunque deve essere sempre presenziata da un operatore esterno, per il controllo ed eventuali anomalie che si potrebbero verificare all'interno della cella.

### **5.5.5.3. Rischi legati all'impianto pneumatico**

I tubi e le guarnizioni del circuito pneumatico hanno caratteristiche di resistenza adeguata rispetto alle temperature e pressioni previste, inoltre l'aria compressa non è utilizzata come fonte di energia attiva all'interno della cabina.

## **5.6. Coefficienti di sicurezza e conformità a norme**

### **5.6.1. Normativa di riferimento specifica**

La macchina è progettata per lo svolgimento della prova su banco per il controllo dei gas di scarico in base alle specifiche richieste dalla Piaggio. Per quanto di competenza del costruttore la macchina rispetta i requisiti previsti dal D.L. 626/94 e dal D.P.R. 547/55.

### **5.6.2. Progetto meccanico**

La macchina è stata progettata rispetto alle norme:

- UNI EN 292/1-2 “Sicurezza del macchinario – concetti fondamentali, principi generali di progettazione”
- UNI EN 418 “Sicurezza del macchinario – Dispositivo di arresto d’emergenza, aspetti funzionali, principi di progettazione.

### **5.6.3. Progetto elettrico**

Il quadro elettrico è stato fornito conforme alla regola d’arte e nel rispetto delle norme CEI 17-3/1.

L’impianto elettrico di bordo macchine è conforme alla norma EN 60204.

L’impianto elettrico è conforme alla L. 46/90





## 6. Preventivo di spesa

Analizziamo i costi di realizzazione dei due moduli automatizzati per la gestione del veicolo. Queste sono le uniche spese che l'azienda dovrà affrontare per realizzare la cella automatizzata, in quanto è già in possesso del banco a rulli e la cabina con la relativa impiantistica è già installata all'interno del reparto "Prototipi e Prove" della divisione VTL. Nella tabella 6-1 sono riportati tutti gli elementi necessari per la realizzazione dei due moduli automatizzati con i relativi costi unitari, ed è riportato il costo totale per la loro realizzazione.

**Tabella 6-1 Preventivo di spesa per la realizzazione dei due moduli automatizzati.**

Componente	Codice Articolo	Q.tà	Costo unitario[€]	Costo totale[€]
<b>Motore Lineare LitMot</b>				
Statore	PS 01 – 48x240 F - C	4	3'250	13'000
Slider	PL 01 – 28x500/420	4		
Flangia	PF 01 – 48x240	4		
Servo Controller	E1000 HC	4		
Cavo Motore High Flex (4 m)	K15 – W/C - 04	4		
Ventola di Raffreddamento	HV 01 – 48	4		
Alimentatore	S01 – 72/600	4		
Guida lineare (SKF)	HS 080 C 200	1	1'000	4'000
Guide Telescopiche		6	500	3.000
Porta-Cavo Flessibile		1	200	200
Unita di Governo		1	3'000	3'000
Scheda Acquisizione Dati (National Intruments) <sup>15</sup>	M-Series Low Cost NI 6229	1	5'000	5'000
Contagiri		1	500	500
Struttura Modulo Gestione Pedaliera <sup>16</sup>		1	1'000	1'000
Struttura Modulo Movimentazione Leva del Cambio		1	1'300	1'300
			<b>Totale [€]</b>	<b>29'000</b>

<sup>15</sup> Compreso software LabView

<sup>16</sup> Intesa nella sua totalità, ad eccezione della mano d'opera per la sua realizzazione all'interno dello stabilimento.

I costi per la realizzazione di questo progetto sono di circa 29000 euro, che confrontati con i costi per l'esecuzione della prova nella modalità attuale, che sono di circa 30000 euro, è chiaro che in un breve lasso di tempo i costi di tutta la struttura vengono ammortizzati con l'esecuzione di due/tre prove di verifica a fatica del gruppo cambio.

## 7. Conclusioni

I vantaggi che inducono alla realizzazione di questa nuova soluzione per eseguire la prova di verifica a fatica del gruppo cambio possono essere evidenziati nei seguenti punti:

➤ **Eliminazione dei costi per l'allestimento e manutenzione della pista su cui attualmente si svolge la prova.**

Adesso per eseguire la prova necessita l'allestimento della pista come riportato in figura 1-3, andando a porre lungo il tracciato i vari punti di riferimento in cui far inserire la marcia all'operatore. Pista che necessita anche di una manutenzione, e quindi, ulteriori costi che vanno ad incidere sui costi totali per eseguire questo tipo di test.

Con l'impiego della cella automatizzata da noi sviluppata, queste voci di spesa saranno eliminate.

➤ **Riduzione dei tempi d'esecuzione della prova**

Attualmente la prova viene eseguita su tre turni per mantenere in veicolo costantemente in movimento ventiquattro ore su ventiquattro. Si è constatato che nelle migliori ipotesi il veicolo è in movimento dalle ventuno alle ventidue ore al giorno, per diversi tempi morti legati all'operatore.

Impiegando questa nuova soluzione, il veicolo è realmente impegnato nella prova ventiquattro ore su ventiquattro, si ottiene così una riduzione dei tempi d'esecuzione della prova del 8,3÷12.5%. Passando così dai 35÷40 giorni attuali per eseguire la prova, a 30÷35 giorni, considerando solo l'eliminazione dei tempi morti dovuti all'operatore. Tempo che viene ulteriormente abbassato per altri motivi illustrati in seguito.

➤ **Migliore esecuzione della prova**

Come già accennato, l'operatore esegue l'innesto di una nuova marcia quando giunge nei punti di riferimento disposti lungo il tracciato della pista, e quindi dipende dall'abilità dello stesso ad eseguire quest'operazione in concomitanza del raggiungimento del regime di coppia o potenza massima del motore. Spesso quest'ultima condizione non viene rispettata. Ma essa è una specifica della normativa Fiat molto importante da far rispettare per non viziare il risultato finale della prova.

Con la nuova soluzione questo problema viene totalmente eliminato perché, l'innesto di una nuova marcia verrà a dipendere solo dal numero di giri del motore, ed automaticamente vengono individuati i regimi di coppia e potenza massima. Quindi la prova sarà eseguita sempre nelle condizioni ottimali rispettando fedelmente le specifiche di esecuzione della prova riportate nella normativa Fiat.

➤ **Miglioramento dell'ambiente lavorativo**

Attualmente l'operatore deve guidare il veicolo sulla pista compiendo sempre lo stesso percorso e inserendo le marce sempre negli stessi punti di riferimento posti a bordo pista. Chiaramente queste operazioni risultano ripetitive, aumentando il disagio dell'operatore. Per diminuire la ripetitività delle operazioni e la monotonia sentita dall'operatore, ogni dieci giri si fa invertire il senso di percorrenza della pista. È chiaro che anche con quest'artificio non si migliora molto la situazione ambientale dell'operatore.

Introducendo il nuovo metodo di svolgimento della prova, si otterrebbe un netto miglioramento dell'ambiente lavorativo, in quanto l'operatore dovrebbe semplicemente presenziare all'esterno della cella automatizzata il corretto funzionamento della stessa tramite il pannello di comando della cella e del banco a rulli.

Questo comporta un'ulteriore diminuzione dei tempi d'esecuzione della prova, in quanto si elimina la fase d'inversione del veicolo durante la prova, che non è utile ai fini della stessa.

Un altro aspetto che comporta il miglioramento dell'ambiente lavorativo è la diminuzione dell'inquinamento acustico. Attualmente l'operatore mentre è alla conduzione del veicolo, deve indossare delle cuffie di protezione per attenuare il rumore prodotto dal veicolo.

Nella nuova soluzione, grazie all'insonorizzazione della cabina in cui si svolge la prova, nello spazio in cui deve presiedere l'operatore, il rumore è sempre inferiore ai 75 dB, come previsto dal D.L. 227/91. In generale aumenta il livello di sicurezza per l'operatore non dovendo più essere a bordo del veicolo, ma all'esterno della cella di prova.

## 7.1. Sviluppi futuri

### ➤ **Possibilità di incrementare le misurazioni di parametri utili alla prova**

Un ulteriore vantaggio nell'utilizzo della cella automatizzata è la possibilità di aumentare l'acquisizione di dati durante lo svolgimento della prova. Per esempio è possibile rilevare le forze necessarie ad azionare la pedaliera e la leva del cambio grazie ad un semplice amperometro che rilevi la corrente assorbita dai vari motori lineari. Questo perché grazie alle caratteristiche di tali motori, esiste una proporzionalità tra corrente assorbita/forza esercitata.

Vi è una vasta gamma di parametri, che non sto ad elencare, che possiamo misurare anche dal semplice fatto che in veicolo non è più in movimento, ma è fermo sul banco a rulli.

### ➤ **Esecuzione di altre tipologie di prove**

La struttura automatizzata ha un'alta flessibilità grazie alla sua impostazione modulare, permettendo di utilizzare questa cella per qualsiasi veicolo a quattro ruote prodotto dalla Piaggio. Con semplici modifiche della programmazione dei moduli in LabView, possiamo far eseguire qualsiasi sequenza d'innesto delle marce al veicolo, e gestirlo a piacimento. Questo comporta un'utilizzazione della cella automatizzata anche per eseguire altre tipologie di prove che si effettuano nella divisione VTL, estendendo i vantaggi prima esposti anche ad altre tipologie di prove. In conclusione, i costi di realizzazione di questa cella automatizzata sarebbero rapidamente ammortizzati, e l'azienda otterrebbe una notevole riduzione dei costi nello sviluppo di nuovi progetti.

## **Bibliografia**

1. Normativa FIAT 7-T4147;
2. Robert G. Juvinall, «Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine», 1993, Edizioni ETS Pisa.
3. Armando Monte, «Elementi di Impianti Industriali», 1997, Edizioni Cortina Torino.
4. Normativa ISO 9000.
5. Normativa ISO 9001.
6. D.Lgs. 626 - Sicurezza nei luoghi di lavoro.
7. D.Lgs. 227/91
8. D.P.R. 547/55.