

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Sede di Forlì

Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA
Classe L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA

in **DISEGNO TECNICO ASSISTITO DAL CALCOLATORE**

Studio ed ottimizzazione di un sedile ammortizzato per auto sportiva

CANDIDATO
Mattia Calabretta

RELATORE
Prof. Luca Piancastelli

Anno Accademico 2013/2014
Sessione II

INDICE

Obiettivi del progetto	pag.6
Introduzione	pag.6

CAPITOLO 1 : STUDIO DEL PROBLEMA DELLE VIBRAZIONI

Introduzione al problema: le vibrazioni	pag.7
Le vibrazioni: effetti sull'uomo	pag.9

CAPITOLO 2: IL SEDILE

Caratteristiche statiche	pag.17
Caratteristiche dinamiche	pag.24
Sedili ammortizzati: classificazione molle	pag.26
- Molle meccaniche	pag.27
- Molle in gomma	pag.28
- Molle a gas	pag.28
- Molle ad aria	pag.29
Materiali di riempimento del sedile	pag.30
- Memory foam	pag.30
- Tempur	pag.31

CAPITOLO 3 : IL PROGETTO

pag.35

CONCLUSIONI

pag.52

Obiettivi del progetto

Studio e progettazione di un sedile per automobile sportiva ad elevato comfort ed in grado di ridurre l'influenza delle vibrazioni, dovute alle irregolarità del manto stradale, al guidatore.

Introduzione

Sin dall'antichità l'uomo si è sempre posto il problema di trovare: sedie, poltrone, giacigli comodi su cui sedersi, ma questo non è sempre stato facile. E' possibile osservare come 5000 anni fa, in Egitto e Mesopotamia ad esempio, sedersi su poltrone comode rappresentasse un simbolo sociale e riservato a poche persone fra cui sacerdoti, re, ed altri nobili in genere, mentre il popolo comune sedeva su panche, sgabelli e così via, sicuramente più scomodi.

Nella cultura moderna la ricerca del comfort ha acquisito via via un'importanza sempre più crescente ed oggi gli studi antropologici della medicina generica e dell'ingegneria umana, sono sempre più rivolti ad una ricerca incessante per soddisfare tale richiesta.

Il sedile di un automobile, oltre a soddisfare determinate richieste in relazione alla comodità e quindi a fattori fisiologici, deve isolare quanto più possibile il conducente dalle vibrazioni e dagli urti provocati dalle asperità della strada.

La scienza che si occupa del comfort, nel senso più ampio, è l'ergonomia.

CAPITOLO 1

Introduzione al problema : le vibrazioni

La ricerca continua di tecniche utili a migliorare il comfort, è indirizzata all'analisi e al controllo di tutte le interferenze ambientali con il corpo umano. Il comfort è una condizione fisica e psicologica di benessere che può essere influenzata da svariati fattori o interferenze come ad esempio, il rumore, i repentini cambi di temperatura o le vibrazioni che influiscono negativamente sul benessere di una persona. Si dovrebbe quindi parlare, con maggior precisione, comfort vibrazionale, comfort acustico, comfort termico e così via. A tali fattori, associati a grandezze fisiche misurabili e quindi valutabili oggettivamente, occorre aggiungere la sensibilità umana alle condizioni ambientali. L'influenza della sensibilità dell'uomo è tanto determinante quanto di difficile definizione perché dipende, non solo dalla risposta fisiologica e biomeccanica dell'organismo umano, ma anche da un gran numero di fattori ambientali e psicologici.

Si definisce comfort di marcia (ride comfort), nella dinamica di un veicolo, il comfort associato a vibrazioni meccaniche di frequenze indicativamente comprese tra 0 e 50 Hz. Tale definizione è legata alla sensibilità dei diversi organi del corpo umano alle vibrazioni meccaniche, ad esempio il tronco e lo stomaco, sono particolarmente sensibili alle vibrazioni tra i 4 e gli 8 Hz, gli occhi e la colonna vertebrale tra 20 e 30 Hz, l'orecchio dai 30 Hz in su.

Ci limiteremo a considerare il solo problema del comfort di marcia in relazione alle vibrazioni meccaniche che insorgono durante la marcia, per effetto dell'irregolarità della strada.

Valutare il grado di comfort di un veicolo è un problema molto complesso. Il nodo centrale di cui bisogna tener conto risiede nella

necessità di stabilire un legame tra le sensazioni del guidatore e il livello delle vibrazioni oggettivamente presenti nell'abitacolo, associate al comportamento dinamico del veicolo. Affinché ciò sia possibile, è necessario:

- Determinare quali dati, sperimentali o calcolati tramite simulazioni numeriche, sia più opportuno utilizzare per caratterizzare in modo opportuno le vibrazioni a cui il veicolo è sottoposto in esercizio;
- Stabilire dei metodi per quantificare, sulla base dei dati acquisiti, il livello di vibrazioni a cui è esposto il passeggero, in modo da correlare fra loro sensazioni e misure, attraverso indici di comfort.

Per quanto riguarda il primo problema, studi nel campo della fisiologia umana hanno dimostrato che la percezione delle vibrazioni è approssimativamente proporzionale alle accelerazioni sulle superfici di contatto tra veicolo e uomo. I dati di partenza per l'analisi del comfort sono quindi le accelerazioni misurate nell'abitacolo.

In relazione invece alla sensibilità umana alle vibrazioni, la risposta dell'individuo dipende da innumerevoli fattori ambientali e psicologici. Sono state individuate, in tal senso, numerose variabili in grado di influire sulla reazione dell'uomo alle vibrazioni, suddivise in due categorie:

- variabili estrinseche: ampiezza e frequenza della vibrazione, direzione del movimento, tempo di esposizione;
- e variabili intrinseche :età, sesso, costituzione fisica, stato di salute, posizione del corpo, ecc.

Sostanzialmente, per sottolineare la complessità del problema, si può osservare che, a parità di condizioni ambientali, individui diversi reagiscono con una sensazione diversa di malessere e spesso uno stesso soggetto, in periodi diversi, mostra relazioni differenti agli stessi stimoli. Il bisogno di conoscere e quantificare il legame esistente

tra la percezione dell'uomo e livelli di vibrazioni effettivi, ha condotto a numerosi studi utili a definire dei criteri oggettivi di valutazione del comfort, ovvero gli indici sintetici, indispensabili per caratterizzare il comportamento dinamico di un veicolo nei confronti del comfort.

Le vibrazioni : effetti sull'uomo

La risposta umana alle vibrazioni esterne è estremamente variabile, non solo fra soggetti differenti, ma anche per il medesimo soggetto se in condizioni fisiche o ambientali differenti. Il grado di vibrazione a cui sono soggetti gli occupanti di un veicolo stradale dipende non solo dall'altezza e dal peso del soggetto ma anche dall'età, dalla postura, dal sesso, dalla ergonomia del sedile e dall'angolo dello schienale. La presenza di un numero così elevato di variabili, richiede necessariamente numerose misure sperimentali, per questo motivo sono state sviluppate alcune norme internazionali utili a valutare l'esposizione alle vibrazioni del corpo umano. Riferendosi ai soli veicoli stradali, le norme più significative sono la VDI 2057, la ISO 2631, la BS 6841 e UNI ENV 12299. Un coefficiente importante è appunto il coefficiente "K" di dis-comfort, definito sulla base di una somma pesata delle accelerazioni misurate sull'essere umano alle interfacce con il veicolo.

La norma più significativa, nella valutazione del comfort, non solo in campo veicolistico, è la **ISO 2631**. Scopo della normativa ISO 2631 è fornire delle linee guida per valutare il livello di esposizione dell'organismo umano a vibrazioni globali, cioè a vibrazioni che, anche se trasmesse solo attraverso una parte della sua superficie, mettono in vibrazione l'intero corpo umano. Situazioni di questo tipo sono tipiche nei veicoli, negli edifici e nelle vicinanze di macchine lavoratrici. La normativa definisce i limiti di esposizione alle vibrazioni trasmesse da superfici solide al corpo umano, nel campo di frequenze da 1 a 80 Hz, e stabilisce dei valori numerici di riferimento. Nell'intervallo 1÷80Hz, i limiti possono applicarsi ai casi di vibrazioni sia periodiche, sia

casuali. I limiti previsti sono da ritenersi validi per persone “in buona salute”, cioè capaci di svolgere le normali attività, incluso viaggiare, e di sopportare lo stress tipico di una giornata lavorativa.

I limiti indicati nella ISO 2631 sono inerenti al livello della vibrazione presente nel punto attraverso cui questa si trasmette al corpo umano e quindi i rilievi sperimentali devono essere effettuati il più vicino possibile a questo punto. Le vibrazioni devono essere misurate in termini di accelerazioni, espresse in m/s^2 .

Secondo la ISO 2631, gli effetti delle vibrazioni sono correlati a quattro fattori principali, che caratterizzano la vibrazione stessa:

- Frequenza;
- Intensità;
- Direzione relativa alla colonna vertebrale;
- Tempo di esposizione;
- Intensità della vibrazione sopportabile, ad una fissata frequenza, in funzione del tempo di esposizione.

Sono definiti tre diversi livelli limite di esposizione alle vibrazioni:

- “limite di comfort ridotto” (reduced comfort boundary), nel campo dei trasporti tale limite è associato alla difficoltà nell’espletare attività quali la lettura e la scrittura;
- “limite di efficienza” (fatigue-decreased proficiency boundary) ,oltre il quale, a causa dell’affaticamento, si ha una riduzione dell’efficienza dell’organismo nei confronti di diversi tipi di attività;
- “limite di esposizione” (exposure limit), è un limite di sicurezza, oltre il quale si ha il rischio di pregiudicare la salute di una persona.

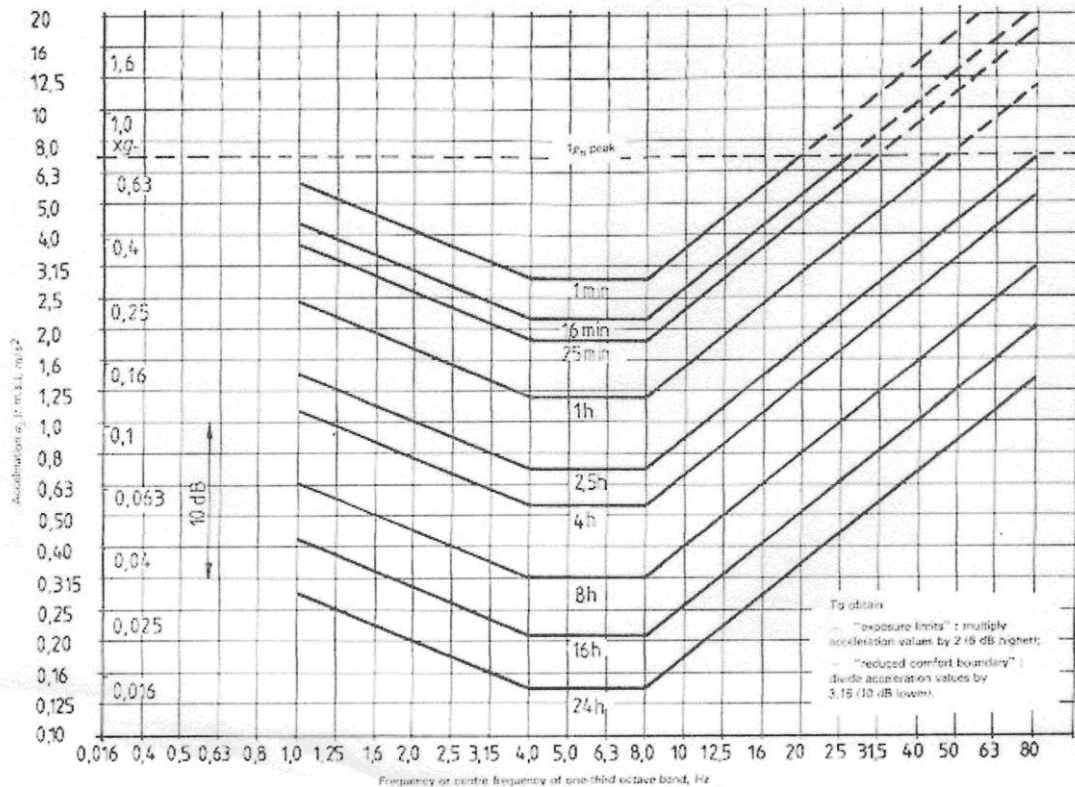


Figura 2 - ISO 2631: curve di "isofatica" per l'accelerazione a_z - "Fatigue-decreased proficiency boundary" in funzione della frequenza e del tempo d'esposizione

La ISO 2631 fornisce una serie di curve (figura 2), parametrizzate in funzione del tempo di esposizione, che identificano, al variare della frequenza, il valore massimo dell'accelerazione che l'organismo umano è in grado di tollerare, prima che compaiano i sintomi dell'affaticamento. Le curve della figura 2 sono dunque relative al cosiddetto "limite di efficienza" e si riferiscono alle accelerazioni longitudinali (a_z), misurate secondo i sistemi di riferimento indicati nella figura 3. Le curve relative al "limite di comfort ridotto" e al "limite di esposizione" vengono desunte da quelle in figura 2, rispettivamente sottraendo 10 dB ai livelli proposti, ovvero incrementandoli di 6 dB.

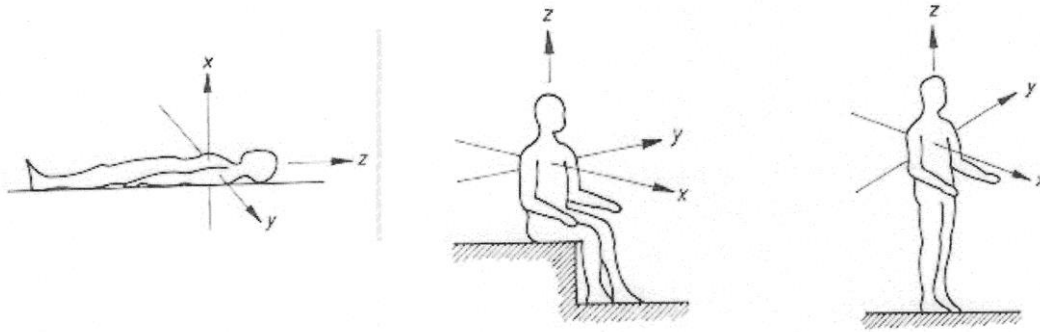


Figura 3 – ISO 2631: sistemi di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni meccaniche sull'uomo

I limiti forniti dalla ISO 2631 sono validi per vibrazioni a frequenze discrete, tra 1 e 80 Hz. Se la vibrazione ha più componenti armoniche all'interno di questo campo di frequenze, il valore dell'accelerazione a ciascuna frequenza dovrà essere valutato separatamente, confrontandolo con il limite corrispondente a quella frequenza. Tale procedura presuppone che, relativamente alla tollerabilità da parte dell'uomo, non vi siano interazioni significative tra gli effetti di vibrazioni a diverse frequenze. Viene sottolineato però, come non esista un'evidenza sperimentale che garantisca l'accuratezza di una simile procedura, confrontata con il metodo cosiddetto ponderale.

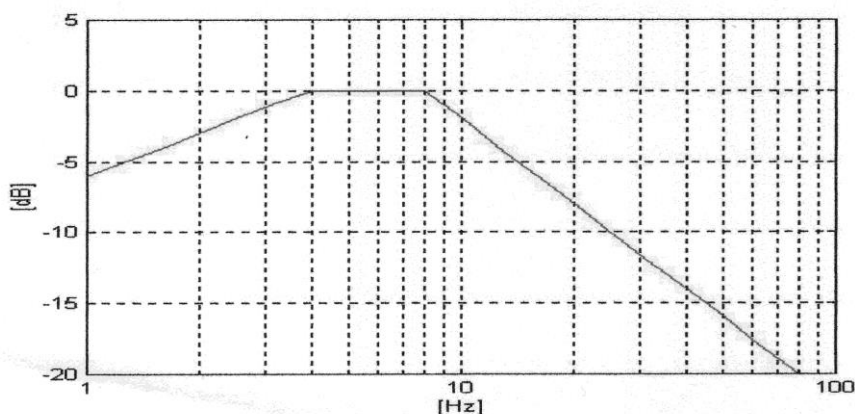


Figura 4 - ISO 2631: curva di ponderazione per le accelerazioni a_z

Il citato metodo della ISO 2631 si pone come obiettivo quello di caratterizzare l'ambiente, in relazione all'effetto delle vibrazioni sull'uomo, mediante una singola quantità. Il segnale d'accelerazione, misurato nelle tre direzioni (figura 3), viene filtrato con una curva di ponderazione in frequenza, tra 1 e 80 Hz. Alle accelerazioni in corrispondenza di frequenze alle quali l'uomo è in grado di tollerare un più alto livello di vibrazioni, viene assegnato un peso minore, mentre il peso massimo viene attribuito alle componenti armoniche comprese tra 4 e 8 Hz, dove minima è la resistenza dell'organismo umano. I valori delle accelerazioni pesate, indicate rispettivamente con a_{zw} , a_{xw} e a_{yw} , secondo le direzioni di misura, devono poi essere comparati con i tratti rettilinei delle curve di isofatica, riportate in figura 2, cioè quelli corrispondenti all'intervallo 4÷8 Hz per le accelerazioni longitudinali a_z , e 1÷2 Hz per le accelerazioni trasversali (a_x e a_y). Se si vuole tener conto anche dell'interazione che può esistere tra vibrazioni che si esplicano in direzioni diverse, si può definire un parametro di vibrazione complessivo, combinando i valori delle componenti pesate delle accelerazioni, secondo la formula:

$$a = \sqrt{(1,4 * a_{xw})^2 + (1,4a_{yx})^2 + a_{zw}^2}$$

In tal modo andiamo a definire un parametro utile per il confronto tra situazioni differenti. La valutazione della tollerabilità del livello di vibrazioni può essere poi condotta, per il caso specifico, comparando il valore assunto da a con i limiti assegnati alle vibrazioni longitudinali nel campo di frequenza 4÷8 Hz.

Pur nella sua generalità, la normativa ISO 2631 risulta di grande importanza anche per affrontare i problemi specifici del comfort nel campo automobilistico, per la precisione con cui i termini del problema vengono in essa definiti e per il carattere operativo delle prescrizioni relative all'acquisizione e all'elaborazione dei dati.

La **BSI** (British Standard Institution), ha proposto una normativa (**BS 6841**) per la valutazione dell'esposizione del corpo umano alle vibrazioni, alternativa a quella indicata dalla ISO 2631. Anche la norma BS 6841 si applica a vibrazioni globali del corpo umano, in un campo di frequenze compreso tra 0,5 e 80 Hz.

La metodologia di misura, intesa come scelta delle grandezze da acquisire, posizionamento dei trasduttori e direzione di misura, è sostanzialmente analoga a quella prevista dalla ISO 2631, ciò che cambia è il modo in cui i dati acquisiti vengono trattati. La norma prevede infatti di filtrare le accelerazioni misurate con un filtro in frequenza a due poli di tipo Butterworth, avente pendenza asintotica di 12 dB per ottava. I due poli sono posizionati a 0,4 e 100 Hz. I segnali sperimentali così filtrati devono poi essere trattati con funzioni di ponderazioni di frequenza, secondo le curve W_b e W_d , rispettivamente per le accelerazioni verticali e trasversali. A titolo d'esempio, nella figura 5 è riportata la curva di ponderazione W_b per le accelerazioni verticali.

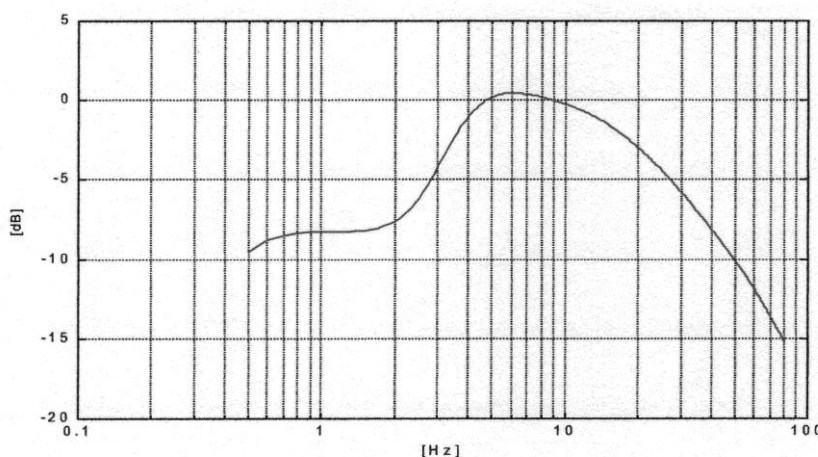


Figura 5 - BS 6841: curva di ponderazione W_b per le accelerazioni verticali a_z

I valori r.m.s. (valore efficace) delle accelerazioni pesate, indicati con a_{xy} , a_{yw} e a_{zw} , sono infine combinati secondo la formula:

$$a = \sqrt{a_{xy}^2 + a_{yw}^2 + a_{zw}^2}$$

al fine di ottenere un unico valore, che rappresenti una stima complessiva del livello di vibrazione relativo al punto di misura.

La BS 6841 fornisce, sia pura a titolo indicativo, dei limiti ai livelli di vibrazione, rappresentati dal valore a (in riferimento al valore efficace), espresso in m/s^2 :

r.m.s. < 0,315	confortevole
0,315 < r.m.s. < 0,63	abbastanza confortevole
0,5 < r.m.s. < 1,0	leggermente non confortevole
0,8 < r.m.s. < 1,6	non confortevole
1,25 < r.m.s. < 2,5	molto non confortevole
r.m.s. > 2,0	estremamente non confortevole

Ecco riportati alcuni dati sperimentali di accelerazione media misurate su differenti veicoli:

AUDI A6



$$a_x = 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = 0,18 \text{ m/s}^2$$
$$a_z = 0,25 \text{ m/s}^2$$
$$\mathbf{a_{max} = 0,25 \text{ m/s}^2}$$

ALFA ROMEO 166



$$a_x = 0,19 \text{ m/s}^2$$
$$a_y = 0,05 \text{ m/s}^2$$
$$a_z = 0,28 \text{ m/s}^2$$
$$\mathbf{a_{max} = 0,28 \text{ m/s}^2}$$

LAND ROVER FREELANDER S TD4



$$a_x = 0,24 \text{ m/s}^2$$
$$a_y = 0,24 \text{ m/s}^2$$
$$a_z = 0,41 \text{ m/s}^2$$
$$\mathbf{a_{max} = 0,41 \text{ m/s}^2}$$

Come risulta chiaro da questi dati le accelerazioni (e quindi le vibrazioni) più importanti sono quelle longitudinali, quindi è su queste che ci concentreremo nel progetto.

CAPITOLO 2

Il Sedile

Avendo visto come le vibrazioni influiscano sulla sensazione di comfort dell'uomo, andiamo ora a definire le caratteristiche ottimali per un sedile di un'automobile.

Il sedile in esame deve possedere non solo buone caratteristiche statiche, ma soprattutto buone caratteristiche dinamiche le quali appunto lo differenziano dalle sedie e dalle poltrone.

Sedile : caratteristiche statiche

Studi specifici hanno permesso di distinguere 3 grandi categorie di differenti sedili, a seconda del loro possibile utilizzo, e sono:

- sedili per mangiare, scrivere, lavorare;
- sedili per parlare, guardare, ascoltare;
- sedili per relax e ascolto;

Ognuno di questi sedili, è caratterizzato da un profilo ottimale (contorno) in grado di rendere il massimo comfort per l'uso richiesto. La quasi totalità degli ergonomista considera validi questi profili, il cui uso è già abbastanza diffuso nella pratica. Un rilevante numero di test dimostrano che la fatica e la salute dell'uomo possono essere salvaguardate se il sedile è ben costruito. I dolori alla colonna vertebrale sono un disturbo abbastanza frequente in quanto la schiena, lavorando continuamente durante tutto il corso della nostra vita, sviluppa patologie che riguardano soprattutto le degenerazioni

della colonna vertebrale e quindi lo sviluppo di un sedile automobilistico di elevato comfort è essenziale per limitare il crescere di tali patologie.

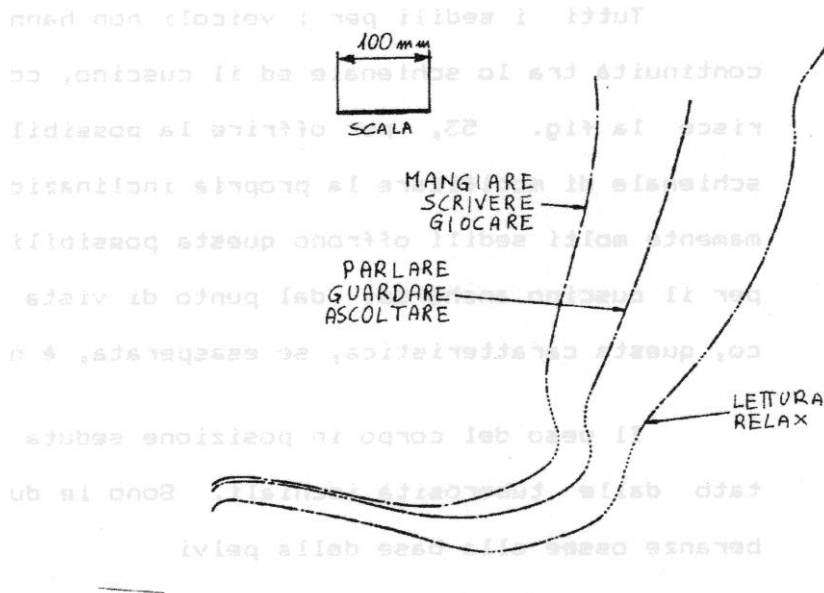


Fig. 53 - Contorno ottimale per una poltrona adatta a diverse attività da farsi in posizione seduta.

I profili reali dei sedili automobilistici però risultano differenti da quelli ottimali utili a massimizzare il comfort. La quasi totalità dei veicoli è caratterizzata da sedili in cui non vi è continuità tra lo schienale ed il cuscino come sarebbe invece opportuno per offrire al guidatore la possibilità di inclinare lo schienale senza perdere la linea ottimale di profilo. Studi moderni hanno pensato di mantenere tale continuità, permettendo quindi di regolare l'inclinazione di entrambi ma non ottenendo i risultati sperati, questa caratteristica pur garantendo una maggiore flessibilità del prodotto, risulta essere dal punto di vista ergonomico negativa se esasperata.

Il peso del corpo dell'uomo in posizione seduta è retto dalle tuberosità ischiatica, costituito da due protuberanze ossee alla base della pelvi (ilio ed ischio).

Tale peso, eserciterà quindi pressioni via via decrescenti man mano che ci si allontana dal contatto di tali tuberosità con il sedile. E' rinomato che un cuscino "duro" non è confortevole (misure eseguite indicano che la pressione sotto le tuberosità in un cuscino duro è di circa 60psi = 60lb/in²). Una caratteristica del sedile dovrà quindi essere la morbidezza del cuscino.

Tale distribuzione delle pressioni è visibile in figura :

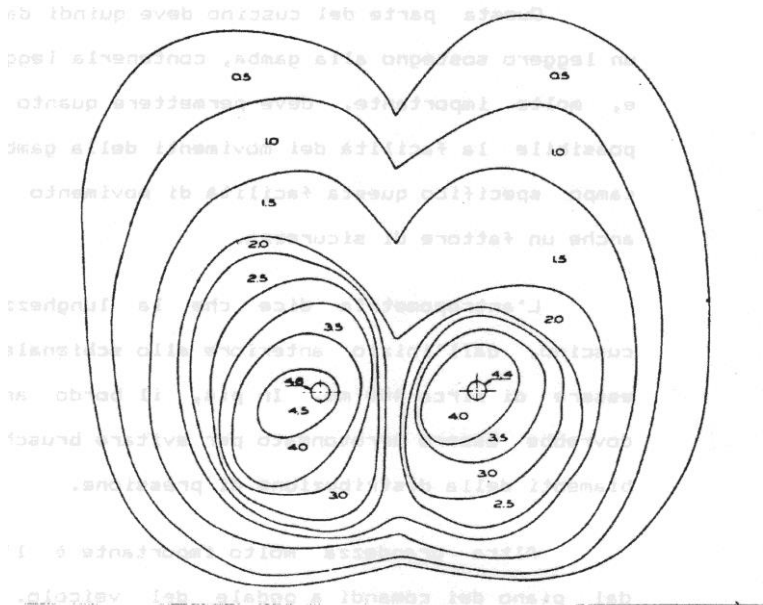


Fig. 54 - Distribuzione della pressione sul cuscino per una persona seduta. Si danno le linee di isopressione attorno alle tuberosità ischiali dell'uomo che sono i due cerchietti più piccoli. I numeri sono libbre su pollici quadrati.

La forma e la lunghezza del cuscino influenzano anch'esse la distribuzione di pressione e quindi in definitiva il comfort. Un dato molto importante da tenere sotto osservazione è la pressione sotto le cosce, l'ergonomia infatti insegna che, se questa è troppo alta, il sangue raggiunge con maggiore difficoltà le parti inferiori della gamba. La parte anteriore del cuscino deve dare solo un leggero sostegno alla gamba, contenerla leggermente e deve permettere soprattutto quanto più possibile la facilità di movimenti della stessa (fattore di sicurezza molto importante).

L'antropometria dice che la lunghezza complessiva del cuscino deve essere di circa di 400 mm e che il bordo anteriore (dove cadono le gambe) dovrebbe essere arrotondato per evitare bruschi cambiamenti della distribuzione di pressione.

Altra grandezza molto importante è l'altezza del piano dei comandi a pedale del veicolo. Questa deve essere ancora di circa 400 mm, dimensioni troppo grandi causerebbero un eccesso di pressione nelle gambe vicino al ginocchio. Per autisti di piccola statura può essere utile il trucco di porre sul pianale un piccolo asse per poter tenere l'angolo delle ginocchia intorno ai 90° quando le gambe stanno in posizione rilassata e non devono agire sui comandi.

Per contrastare la tendenza naturale dell'autista a scivolare in avanti e perdere quindi il contatto con lo schienale, il cuscino deve essere leggermente inclinato all'indietro. Lo stesso effetto può essere ottenuto variando la durezza della parte gommata del cuscino.

Come già detto, per venire incontro ai desideri individuali dell'autista, si può anche prevedere una possibilità di regolazione dell'inclinazione del cuscino, limitata al range da 0÷10° all'indietro. La regolazione dell'altezza del piano del cuscino è comunque sempre necessaria per adattarsi alle varie stature (circa ±30 mm dalla posizione media).

Lo scopo principale dello schienale è quello di fornire un buon sostegno alla regione lombare della spina dorsale sostenendo quindi la schiena tra i 150 e i 220 mm sopra il cuscino. Tale schienale deve possedere anche una curvatura convessa per assecondare la naturale linea della spina dorsale.

Per lo schienale, così come per il cuscino, risulta molto importante la possibilità di poter regolare la sua inclinazione (in un range da 0÷15° verso l'indietro) e deve avere forma concava, se guardato dall'alto, per dare supporto alla schiena negli scuotimenti laterali.

La presenza di un'area libera, al di sotto del cuscino, per poter permettere alle gambe del pilota di rilassarsi ogni tanto cambiando la propria posizione, è di rilevante importanza nella ricerca delle

massime condizioni di comodità di guida. La presenza o meno di tale spazio non dipende solo dalla conformazione del sedile, ma può dipendere anche da come è stata costruita la cabina di guida. Nelle figure si presentano la vista laterale e dall'alto dei campi massimi ed ottimali di movimento del conducente dei veicoli. "V" è il piano verticale passante per l'articolazione della spalla, "H" è il piano contenente le zone d'azione orizzontali indicate in figura.

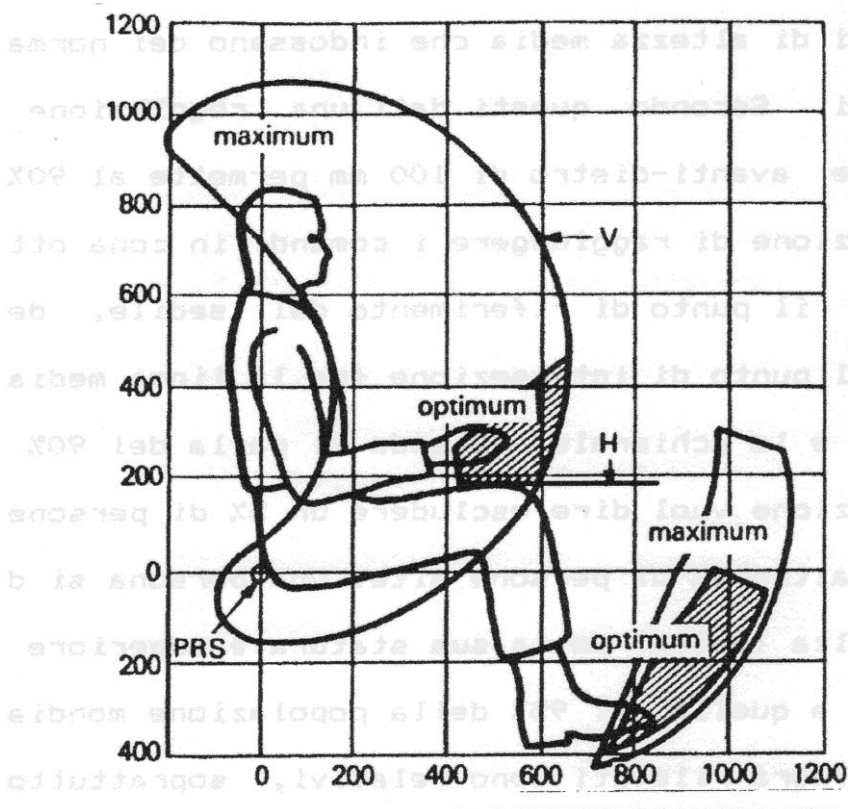
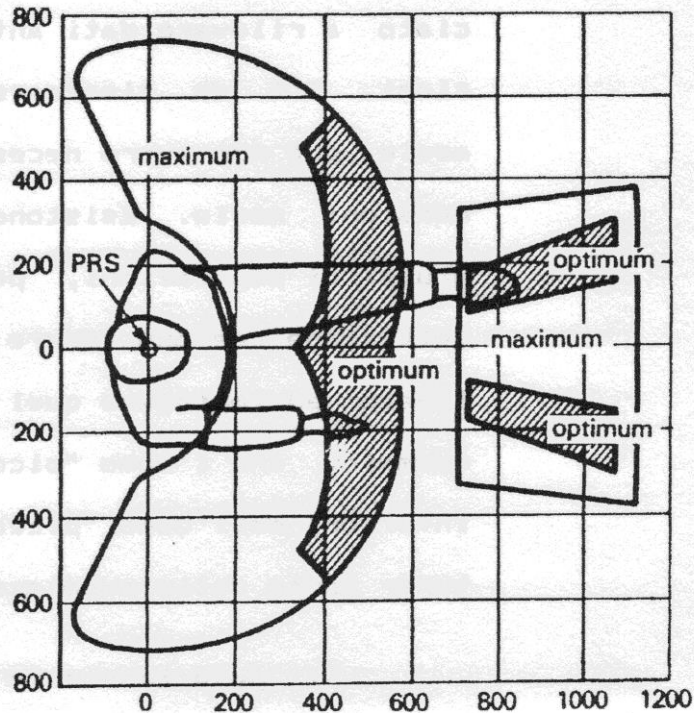


Fig. 55 - Vista laterale dei campi massimi e ottimali di movimento dell'autista "V" è il piano verticale passante per l'articolazione della spalla. "H" è il piano contenente le zone d'azione orizzontali indicate in Fig. 56.

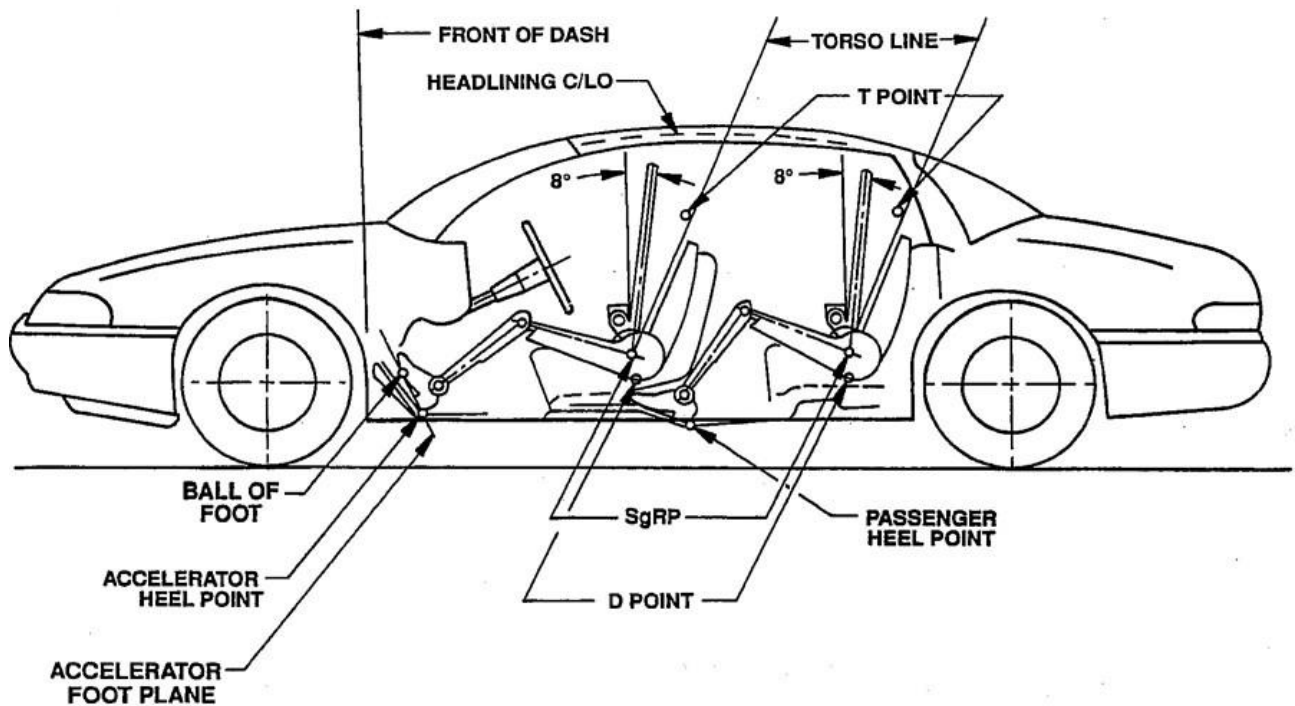
Fig. 56 - Vista in pianta dei campi massimi e ottimali di movimento dell'autista. Le aree d'azione indicate (anche Fig. 55) si riferiscono ad un conducente di altezza media indossante indumenti normali. Secondo questi dati una regolazione orizzontale di 100 mm permette al 90% di persone di varia statura di raggiungere i comandi in zona ottimale.



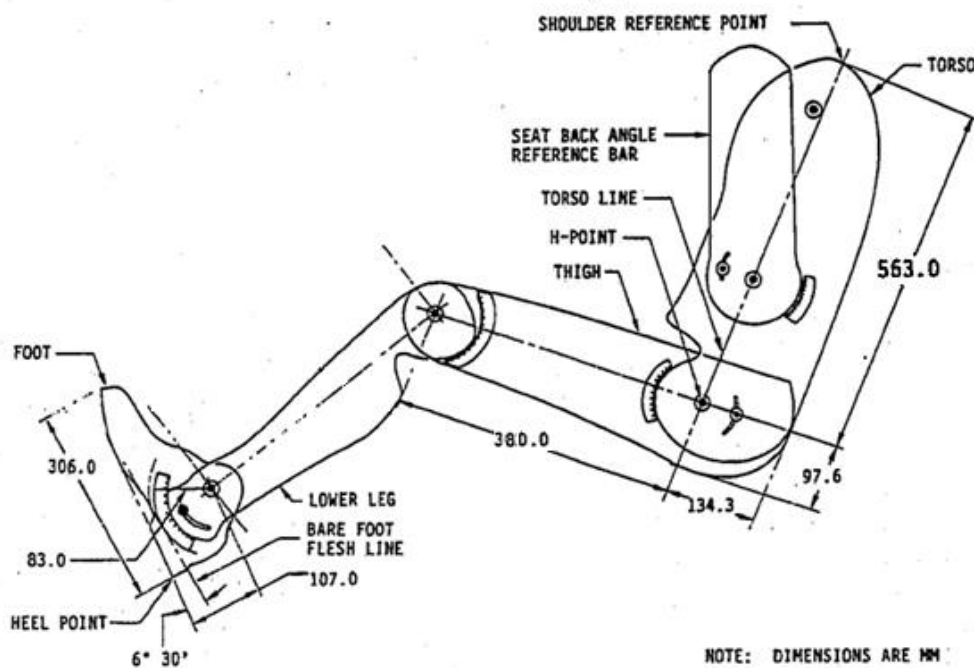
Le aree raffigurate tramite rappresentazione grafica sono in riferimento a conducenti di altezza media che indossano dei normali indumenti. Secondo questi dati una regolazione orizzontale avanti-indietro di 100mm permetterebbe al 90% della popolazione di raggiungere i comandi in zona ottimale. Indichiamo con il termine PRS il punto di riferimento del sedile, definito come il punto di intersezione tra la linea mediana del sedile e dello schienale. I dati rilevati (in riferimento alla popolazione statunitense) si riferiscono al 90% della popolazione di altezza media, andando ad escludere un 5% di persone basse e un altro 5% di persone alte (una persona si definisce bassa se la sua statura è inferiore al 95% della popolazione mondiale, alta se accade il contrario).

Per il dimensionamento dell'altezza del sedile è necessario considerare anche l'abbassamento dei pedali sotto la pressione del piede, infatti, è possibile che la posizione normale del pedale sia interna alla zona ottimale di lavoro, mentre quella del pedale premuto sia al di fuori di essa. In realtà la posizione a pedale premuto deve

invece risultare all'interno della zona ottimale, perché è più gravosa per il guidatore, rispetto alla posizione di pedale non premuto, questo perché i muscoli sono più in tensione.



E' possibile osservare in figura le dimensioni fondamentali del sedile, rispetto ai comandi del veicolo e secondo la raccomandazione della SAE J826A:



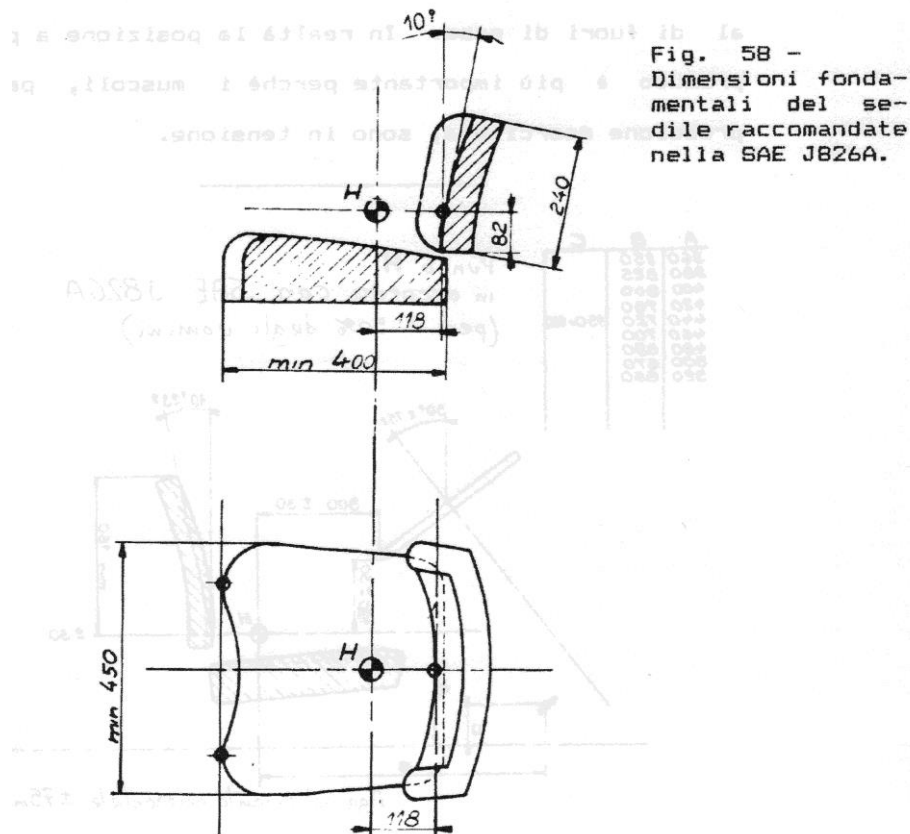


Fig. 58 -
Dimensioni fonda-
mentali del se-
dile raccomandate
nella SAE JB26A.

Riepiloghiamo quindi le caratteristiche statiche del sedile:

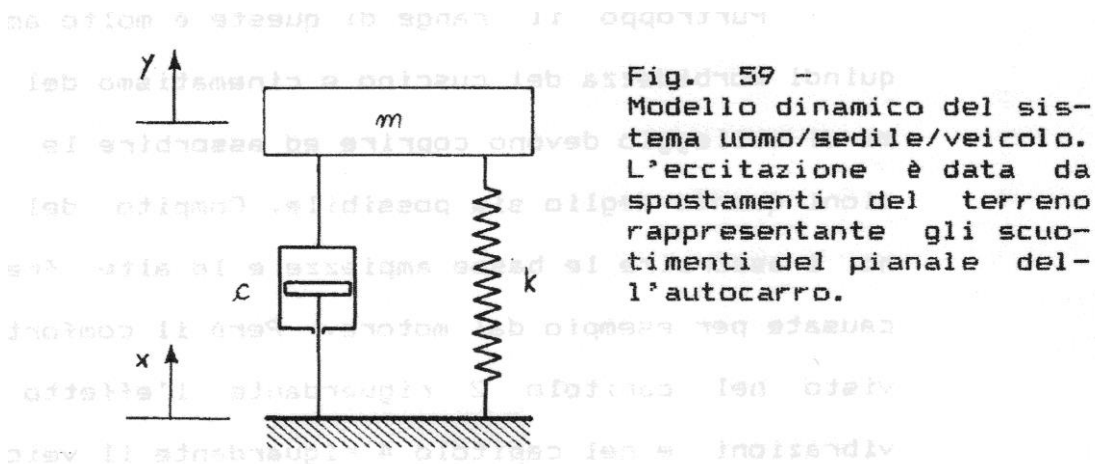
- regolazione avanti-indietro rispetto al volante;
- inclinazione del cuscino e sua forma;
- inclinazione dello schienale e opportuna sagoma;
- spazio sotto il cuscino;

Sedile : caratteristiche dinamiche

Il principale scopo di ogni sedile per automobile è quello di isolare l'uomo seduto dalle vibrazioni e dagli shock che gli vengono trasmessi a causa delle asperità della strada.

La frequenza (e l'ampiezza) con cui tali vibrazioni si verificano purtroppo è molto ampia ed in generale variabile e quindi morbidezza del cuscino e cinematismo del sistema di molleggio, devono essere scelti e progettati in modo da assorbire (ammortizzare)

il più ampio range di vibrazioni possibile al loro interno. Distinguendo fra i compiti del cuscino e quelli del sistema di molleggio, possiamo dire che il primo è incaricato di assorbire le vibrazioni caratterizzate da basse ampiezze e alte frequenze (causate per esempio dal motore), il secondo invece dovrebbe filtrare le vibrazioni di bassa frequenza e elevata ampiezza di spostamento, provocate dalle asperità stradali e dalla velocità di marcia. Il conducente e il sedile possono essere schematizzati come in figura, con uno schema standard molto usato in dinamica e formato da una massa (l'uomo), una molla ed uno smorzatore.



In questo modello l'eccitazione al sistema viene dallo spostamento casuale del pianale dell'auto.

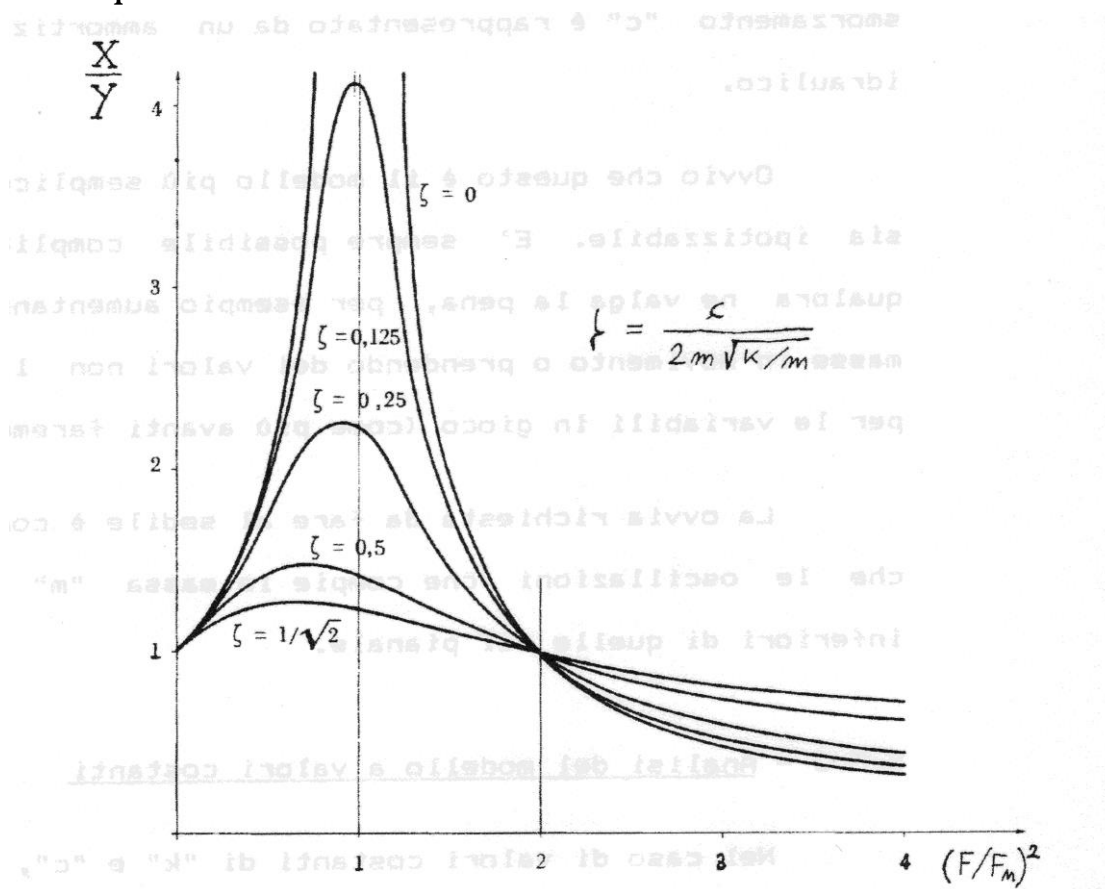
La massa "m" rappresenta quella dell'autista, in genere ne viene considerato il 75% perché le gambe non pesano sul sedile ma sul pianale, sommata a quelle della parte oscillante del sedile.

La molla di rigidezza "k" è la flessibilità del sistema di sospensione del sedile combinata con quella dell'imbottitura del cuscino.

Lo smorzamento "c" è rappresentato da un ammortizzatore idraulico.

Lo studio sul nostro sedile dovrebbe garantire che le oscillazioni compiute dalla massa m siano inferiori a quelle del pianale.

Nel caso di valori costanti del tipo di “k” e “c” si ha che per rapporti F/F_n minori di $1,414\sqrt{2}$ l'ampiezza del moto della massa “m” è più grande di quella eccitatrice.



A rapporti maggiori, invece, la risposta della massa è inferiore. Nel grafico si vede anche chiaramente l'influenza dello smorzamento “c” sul sistema, descritta tramite il fattore di smorzamento ζ .

Infine bisogna considerare che per avere un buon isolamento, la frequenza naturale della massa sospesa “m” dovrebbe essere la metà, o meno, della frequenza di eccitazione del pianale.

SEDILI AMMORTIZZATI : classificazione molle

Nel corso degli anni, i sedili ammortizzati si sono sempre più evoluti per adattarsi alle esigenze di ogni tipo di guidatore. Sedili del genere, tuttavia, presentano spesso dimensioni troppo ingombranti e design esteticamente non accattivanti che li rendono sì utili, perché comodi,

in veicoli da lavoro, ma poco utilizzati in vetture sportive e per niente nelle più *moderne* utilitarie.

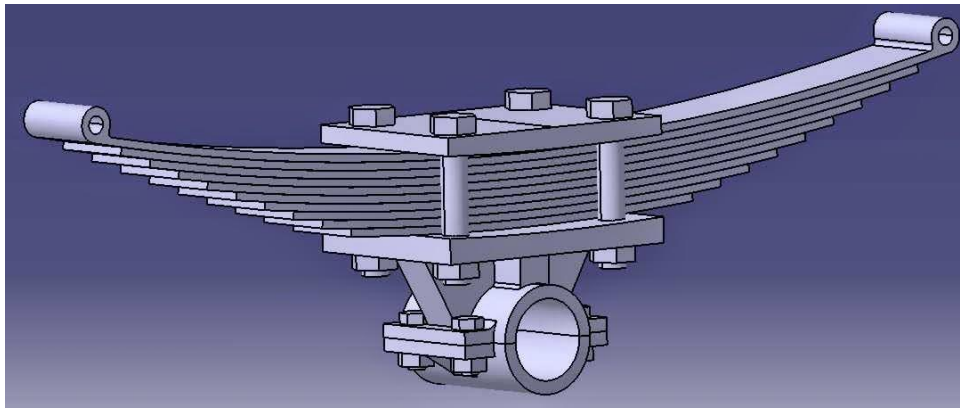
Gli elementi elastici teoricamente utili a smorzare le vibrazioni, possono essere di vario tipo, distinguiamo:

- **molle meccaniche;**
- **molle in gomma;**
- **molle a gas;**
- **molle ad aria (utilizzate nel nostro progetto);**

Le **molle meccaniche** sono in genere normali molle elicoidali (fig. A) , magari coniche o a passo variabile. Fanno parte di tale categoria anche le barre di torsione e le molle a balestra (soprattutto usate negli automezzi pesanti) le quali però offrono prestazioni, per esempio in termini di corsa disponibile, troppo scarse (fig. B).



(A)



Le **molle in gomma** hanno elevate rigidzze e permettono piccoli spostamenti, gli sforzi sulle leve sono quindi elevati. Tali molle sono sensibili a qualunque piccolo difetto: tolleranze produttive, giochi, distorsioni prodotte dall'uso, ecc.

Suscitano interesse per le loro caratteristiche intrinseche di smorzamento le molle di torsione in gomme, le quali però hanno costi molto elevati e breve durata nel tempo.



Le **molle a gas** sfruttano il lavoro in pressione compiuto da pistoni precaricati a gas (come l'azoto). Presentano elevata rigidzza non regolabile e dimensioni ingombranti che non le consentono di essere applicate in un sedile per ridurre le vibrazioni.

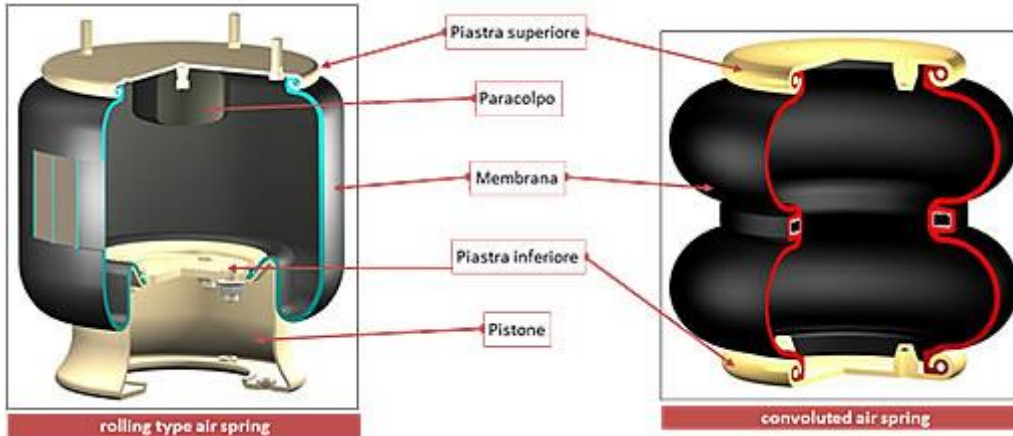


Le **MOLLE AD ARIA** sono costituite da un involucro flessibile in gomma telata, fissata ad elementi in metallo o materiale composito contenente al suo interno aria compressa, che si comporta come una normale molla che genera smorzamento. Tale tipo di molla permette un semplice aggiustamento dei pesi e delle frequenze proprie e si basa su due organi: il pistone ed il diaframma.

I principali vantaggi della molla ad aria sono:

- consente di variare la pressione al suo interno per garantire un alto livello di comfort durante la marcia ;
- è impiegata per controllare l'altezza da terra degli automezzi (negli autobus urbani si facilita la salita dei passeggeri abbassando il pianale alle fermate) oppure per mantenerla costante al variare del carico o per variarla in base alle esigenze del conducente;
- Livello di guida costante;
- Affaticamento ridotto del conducente;
- Altezza di marcia costante;
- Riduzione dell'usura degli assi e dei pneumatici;
- Migliore assorbimento delle vibrazioni in stato carico e non carico;
- Non necessita di manutenzione;

- Sostituzione dell'articolo semplice ed economica;
- Lunga durata;



MATERIALI DI RIEMPIMENTO DEL SEDILE (cenni teorici): MEMORY FOAM, TEMPUR

Il riempimento del sedile è molto importante ed un materiale, piuttosto che un altro, può fornire comfort differente e non solo, può anche attenuare le vibrazioni trasmesse dal sedile al corpo umano.

Introduciamo due fra i materiali più innovativi che riscontrano le caratteristiche ricercate : il Memory foam e il Tempur.

Il **Memory Foam** è un nuovo tipo di schiuma poliuretanicca, ad alta resilienza, ovvero in grado di tornare alla forma originaria dopo essere stata posta a pressione. Questa schiuma viscoelastica, a lenta memoria, di densità elevata è risultata essere il materiale perfetto per i materassi del XXI secolo. Sorregge ogni parte del corpo in base al peso e alla pressione esercitata, offrendo un comfort impareggiabile in tutte le posizioni assunte durante la notte. Ergonomia, igiene, traspirazione e durata nel tempo sono alcune delle caratteristiche che lo contraddistinguono dalle schiume tradizionali. Il **memory foam** è un materiale che si modella in base al calore corporeo, seguendo la linea del nostro corpo, creando un calco che presenta le nostre stesse caratteristiche, ha una rigidità medio-alta che permette alla colonna

vertebrale di non assumere posizioni scomode e non ci da quella sensazione di sprofondare che proveremmo con un materiale più morbido.

Il memory foam non si limita a migliorare le condizioni di comodità, ma influisce positivamente sulla nostra salute perché evita l'insorgere di mal di schiena, dolori articolari e muscolari.

Lo spessore è una caratteristica a cui dobbiamo riservare una particolare attenzione se vogliamo sfruttare al meglio le potenzialità del memory. Mentre per quanto riguarda un materasso, non abbiamo problemi di "limitazione" delle dimensioni di altezza, per un sedile sì. Lo spazio destinato a riporre le gambe ha dimensioni contenute e quindi per evitare dimensioni critiche, che non consentirebbero la libertà necessaria al guidatore, dobbiamo utilizzare spessori non troppo elevati. Il memory è un materiale che reagisce al calore, quindi è consigliabile rivestirlo con materiali traspiranti, affinché possa esercitare la sua funzione nella maniera più adeguata possibile.

Il **Tempur**, anch'esso utilizzato attualmente prettamente nei materassi, è un materiale termosensibile in grado di alleviare la pressione sul corpo conformandosi perfettamente a esso, così da offrire un perfetto sostegno ortopedico e un comfort unico.

Originariamente sviluppato dalla Nasa, il materiale Tempur è stato oggetto di numerosi studi clinici che ne hanno provato la capacità di alleviare i dolori posturali. A differenza del comune poliuretano, che ha una configurazione cellulare irregolare che si comprime semplicemente sotto il peso, lo speciale materiale Tempur è composto da miliardi di cellule aperte a forma sferica che rispondono alla temperatura e al peso del corpo, muovendosi e riorganizzando la propria posizione adattandosi alla forma del corpo. La struttura cellulare sferica si muove delicatamente lungo le curve naturali del corpo, garantendo un supporto totale senza gli spiacevoli effetti della pressione.

Il materiale che Tempur utilizza per i propri prodotti è frutto del programma di ricerca aerospaziale della Nasa ed è l'unico che vanta la certificazione della Space Foundation per aver contribuito

significativamente al miglioramento della vita sulla terra. E' stato sviluppato negli Anni '70 all'Ames Research Center della NASA, in California, per migliorare il comfort e la protezione dall' accelerazione di gravità sui sedili dei veicoli spaziali, alleviando quindi la pressione sul corpo degli astronauti. Per molti anni, a causa di una tecnica di produzione su piccola scala le applicazioni commerciali sono state limitate a cuscini e materassi sanitari per la prevenzione delle ulcere da decubito. Nel 1991, dopo una lunga serie di studi di sviluppo sul materiale e sulla

Produzione, avvenuto nello stabilimento Dan-Foam di Tempur World in Danimarca, la tecnologia di produzione su larga scala della "schiuma spaziale" era pronta per il lancio. A quel punto era possibile offrire l'eccezionale decompressione e comfort del materiale della Nasa per usi privati, oltre che a ospedali, cliniche e case di riposo in tutto il mondo.

Nel 1996 la U.S. Space Foundation ha autorizzato Tempur-Pedic a utilizzare il sigillo ufficiale "Tecnologia Spaziale Certificata" sulle confezioni dei prodotti e sul materiale di marketing Tempur.

Questo sigillo può essere utilizzato esclusivamente dai prodotti e servizi che derivano dalla ricerca spaziale statunitense o che sono utilizzati nell'esplorazione dello spazio.

Nel 1998, a riconoscimento dell'applicazione della tecnologia spaziale, Tempur è stata insignita di un premio della National Aeronautics e della U.S. Space Administration, come pure di un attestato da parte della U.S. Space Foundation per i risultati raggiunti. Sempre nel 1998, la tecnologia Tempur insieme con il GPS (Global Positioning System) sono state

ammesse alla Hall of Fame della Nasa di Colorado Springs, come due tecnologie spaziali aventi ottenuto un eccezionale successo in applicazioni commerciali. Questa conquista è risultata essere in linea con gli obiettivi e gli standard del programma previsto dalla Hall of Fame della tecnologia

spaziale, che onora le innovazioni che hanno trasformato la tecnologia originariamente sviluppata per lo spazio in prodotti commerciali.

La storia di Tempur inizia in Svezia nel 1964, con un'impresa familiare di produzione di schiume, la Fagerdala. Con gli anni l'azienda cresce, arrivando a possedere, nel 1989, 10 stabilimenti in tutto il mondo specializzati nello sviluppo, nella produzione e nella vendita di schiume tecniche. Nello stesso anno la Fagerdala acquisisce Dan-Foam, una piccola azienda produttrice di poliuretani per il mercato dell'arredamento danese. Nel corso degli anni '80 Dan-Foam si sforza di sviluppare un processo di produzione su larga scala del materiale Tempur,

originariamente inventato dalla Nasa. Grazie all'acquisizione di Dan-Foam, Fagerdala ingaggia la sfida volta a finalizzare il progetto Tempur, e dal 1991 riesce a includere questo materiale in schiuma altamente innovativo nella sua linea di prodotti. Dal 2001 è quotata alla Borsa di New York come Tempur Pedic International. L'azienda ha chiuso il 2010 con 1 miliardo e 100 milioni di dollari di fatturato, risultando al secondo posto assoluto nel mondo per il suo settore.

L'azienda opera in Italia da fine 2001 con interesse esclusivo indirizzato verso il mercato dei materassi e complementi d'arredo.

Seppur ancora non abbia trovato ampio sviluppo, l'utilizzo del Tempur in campo sportivo automobilistico, è già stato testato e promosso dalla Koenigsegg, casa automobilistica svedese, che fornisce di serie la sua CCX con sedile aventi tale imbottitura.

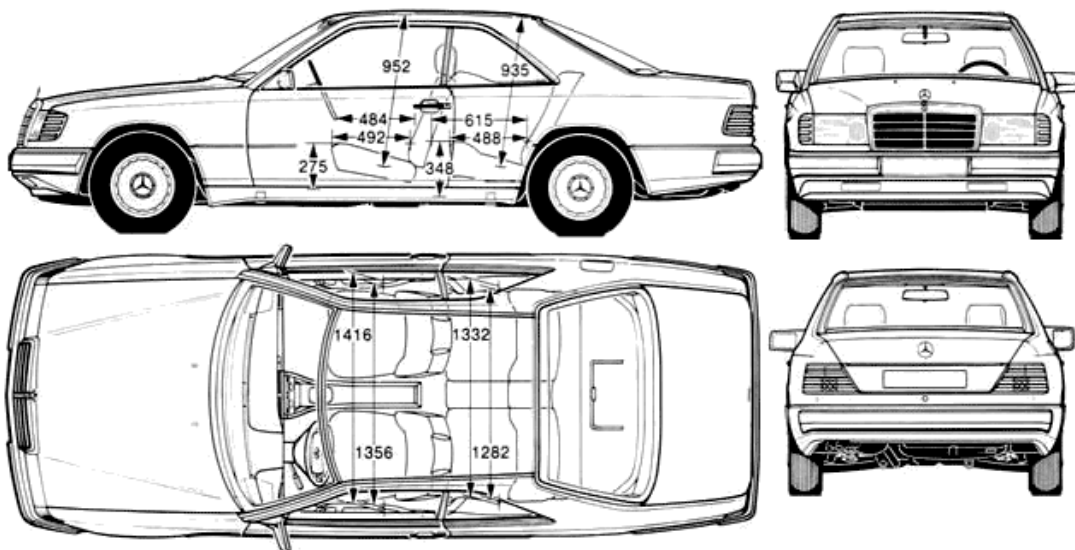


IL PROGETTO

L'obiettivo che si pone il progetto di raggiungere, è quello di creare un sedile per auto sportiva dall'elevato comfort e che riduca al minimo le vibrazioni trasmesse al guidatore. Nelle grande maggioranza di casi, nelle auto sportive, il comfort per il guidatore non è elevato, le sospensioni, molto rigide, sono causa di eccessive vibrazioni per il conducente, il sedile non possiede un profilo ergonomico ottimale ed i comandi del sedile sono limitati e non permettono una corretta regolazione di quest'ultimo.

Il mio scopo è quindi di creare un sedile che possa sopperire alle mancanze di quello di serie. La parte più importante del progetto è sicuramente lo studio di un sistema che permetta di ridurre l'influenza delle vibrazioni sul guidatore.

Lo studio è stato effettuato su una vecchia tipologia di sedile, appartenente alla Mercedes W124, la quale è stata una delle ultime autovetture dotata di sedili molleggiati.





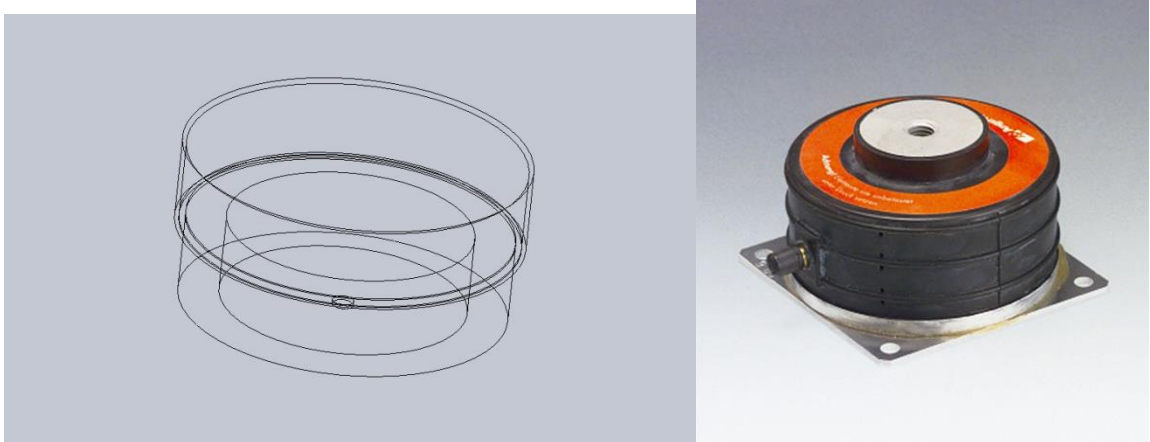
Tale sedile al suo interno è costituito da una piastra di acciaio di base, sulla quale sono montate due molle cilindriche (di diametro 5cm e altezza 15cm) collegate a loro volta ad una struttura in acciaio su cui viene appoggiato il cuscino.



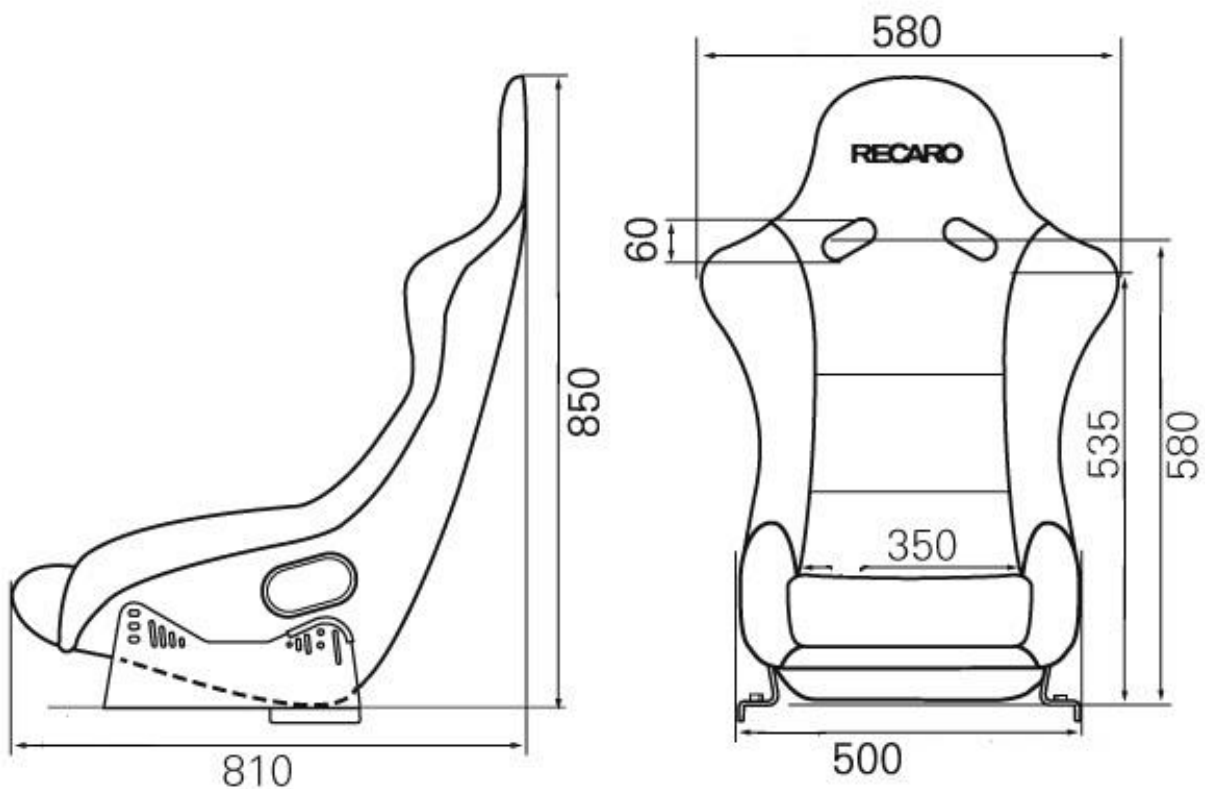
Un sistema del genere risulta sì valido per ridurre le vibrazioni trasmesse dalle asperità della strada al guidatore ma non applicabile al caso di autovettura sportiva, a causa dell'eccessiva dimensione delle molle che renderebbero il sedile troppo alto.

Per far fronte a tale problematica allora, si è pensato di sostituire tali molle meccaniche (ingombranti) con delle molle ad aria, le quali sono

caratterizzate da un ingombro ridotto e consentono di essere facilmente regolate a differenza delle prime.



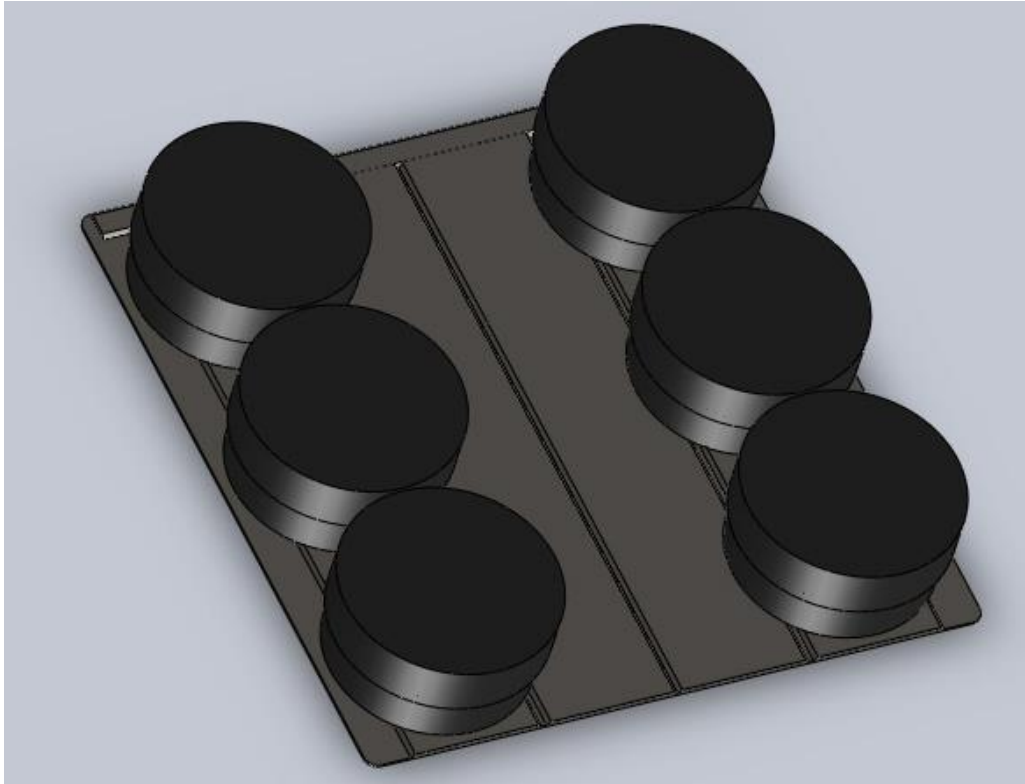
Abbiamo preso come riferimento per dimensioni e design un sedile sportivo RECARO, nota azienda specializzata nel settore automobilistico della velocità.





Il problema principale affrontato nella progettazione è stato quello di individuare un metodo per attenuare le vibrazioni longitudinali, le quali alla lunga possono causare gravi danni alla salute, trascurando invece le vibrazioni trasversali, molto più moderate.

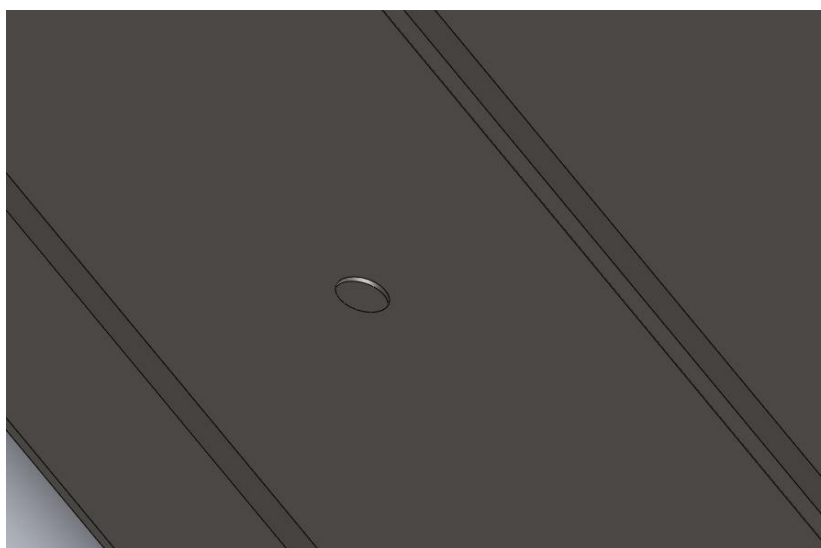
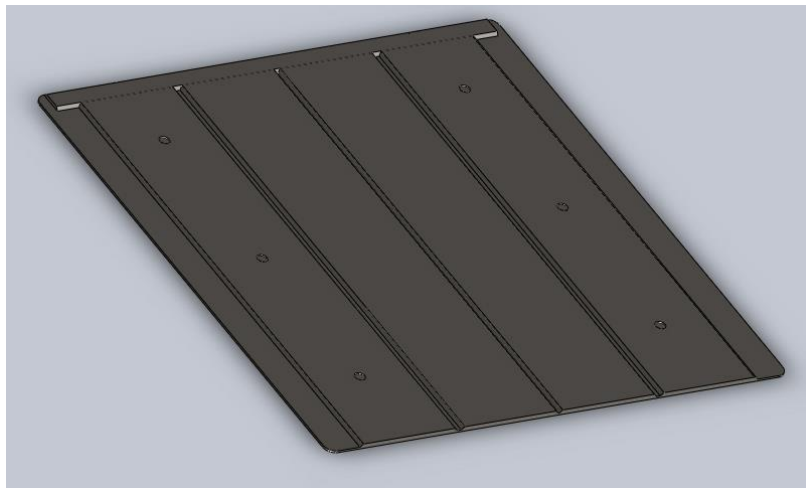
Nel progetto si è cercato di mantenere il sedile ad una frequenza propria di 15Hz, che garantisce un adeguato comfort. Per raggiungere questo scopo si è pensato di costruire una base del sedile in cui sono state inserite 6 molle pneumatiche. Partendo dai 15Hz di dato iniziale, si è calcolata la rigidità delle molle necessaria a mantenere questa frequenza. Il sistema è costituito da due piastre di acciaio collegate appunto dalle 6 molle in parallelo che quindi si ripartiscono il carico e la cui rigidità totale deve dare la rigidità del sistema che vogliamo ottenere.



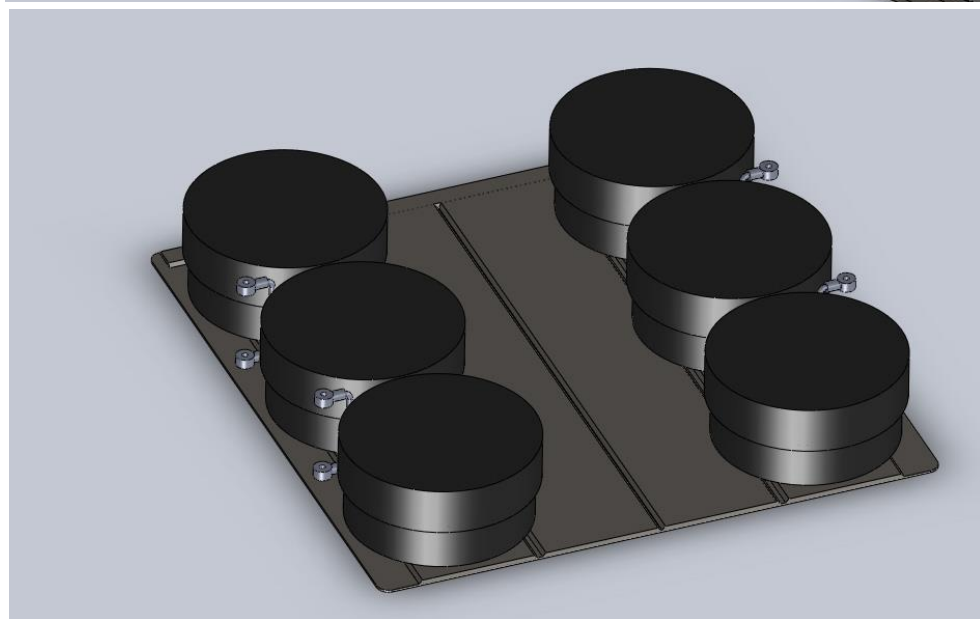
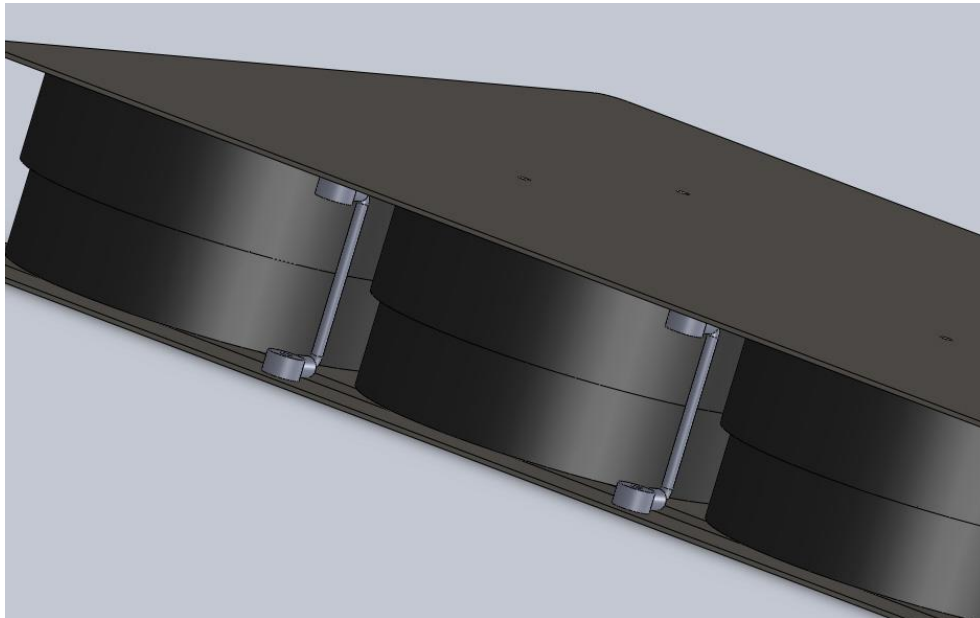
Si è cercato di mantenere questo sistema il più sottile possibile, in quanto l'utilizzo è in questo caso per auto sportiva ed in modo da mantenere una posizione di guida bassa, all'altezza della strada. Sopra le piastre d'acciaio si va a posizionare il cuscino.



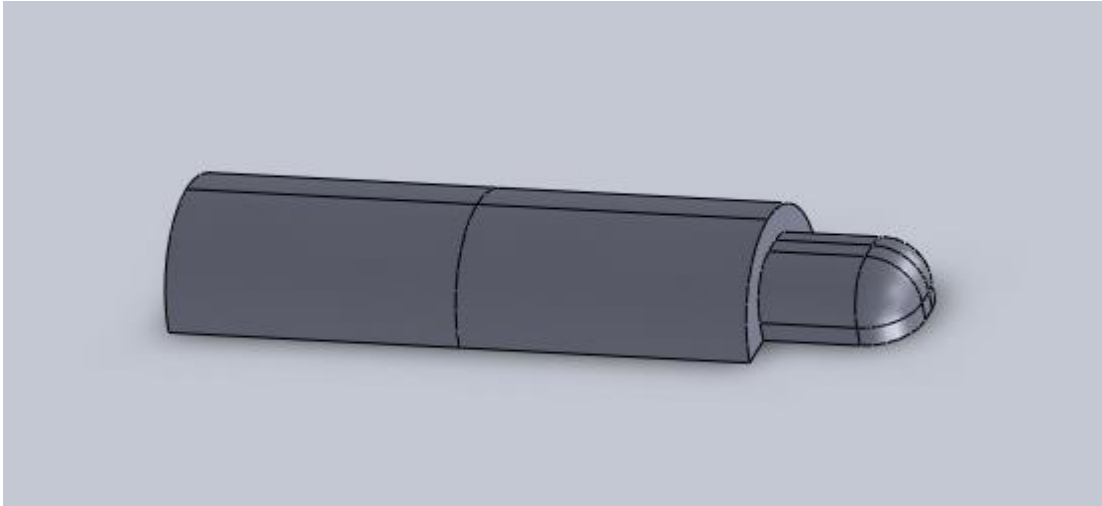
Le 6 molle sono in acciaio e entrambe le parti che le costituiscono sono saldate alla base su cui sono appoggiate con tenuta garantita da un anello interno, l'altezza delle molle sarà regolata da un compressore. Per fornire l'aria all'interno delle molle, necessaria alla loro regolazione, si è pensato di realizzare dei condotti saldati alla base del sedile, forate nella zona di contatto fra quest'ultime e le molle stesse, in modo da permettere il passaggio dell'aria. In questo modo posso collegare il compressore direttamente su due fori d'uscita praticati nel retro del basamento stesso. Altre due condotti (chiusi) sono stati saldati sulla base per irrobustire la struttura.



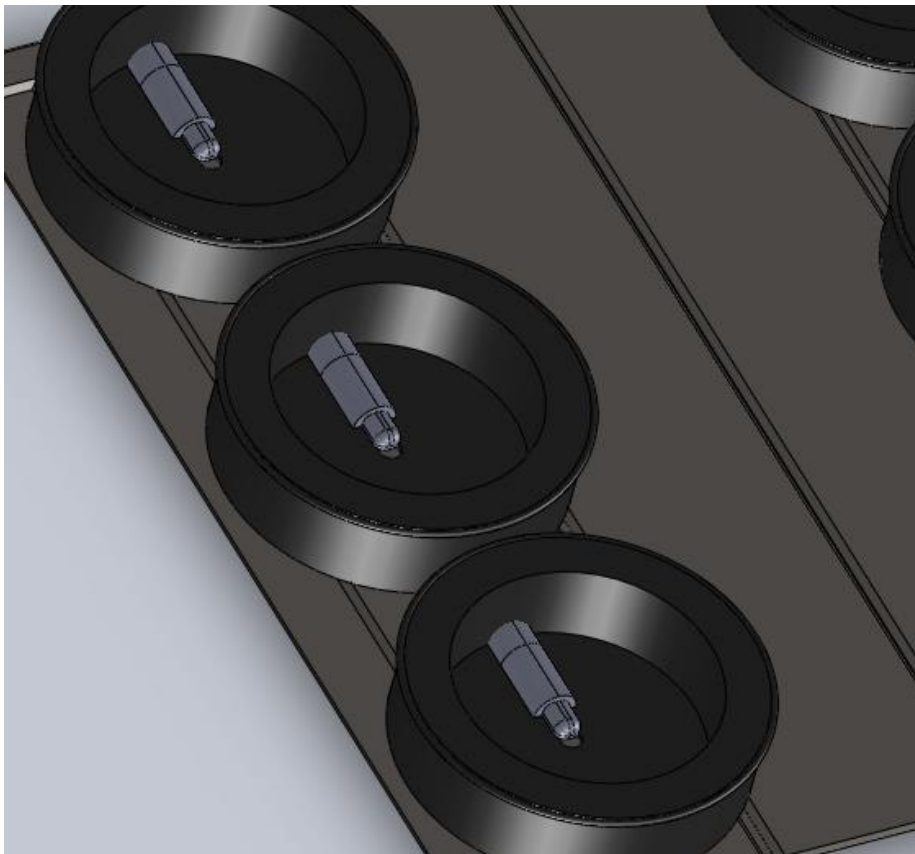
Per evitare che un'eccessiva sollecitazione provochi il distacco delle due parti delle molle, causando il movimento del cuscino che potrebbe essere molto pericoloso per il guidatore, sono stati avvitati alle piastre 4 cavi d'acciaio che impediscono alle molle una corsa più ampia di quella disponibile, prevenendo quindi il distacco.



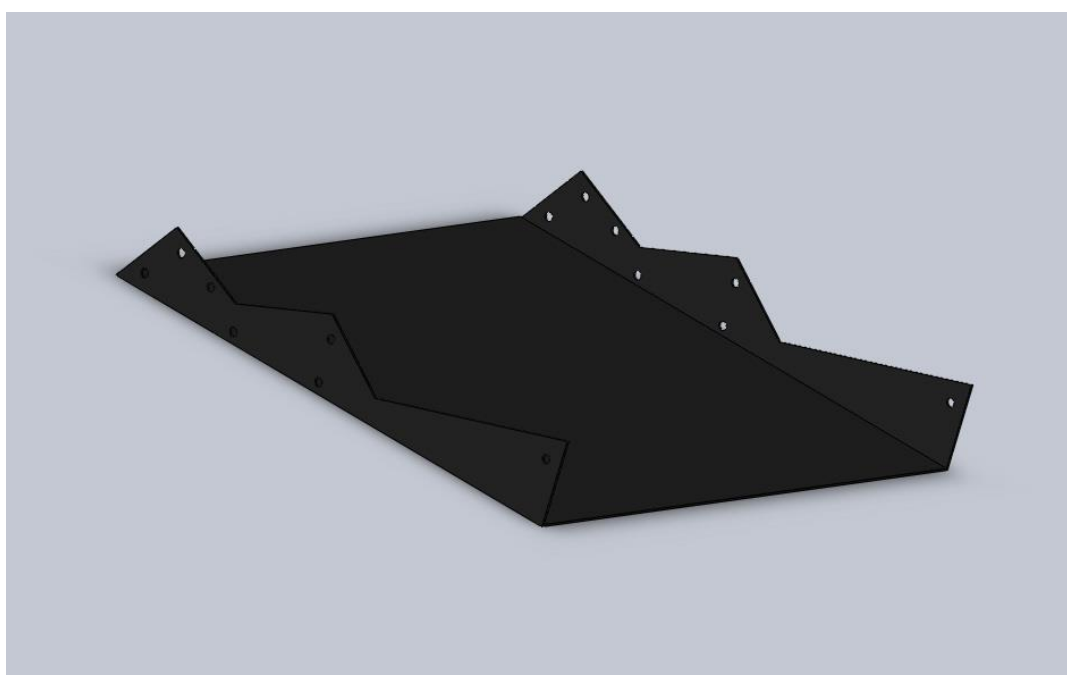
Affinché non vi siano oscillazioni del sedile, è necessario dotare il circuito di uno smorzatore, che agisca dopo la compressione, per un ritorno graduale alla posizione di partenza.



Tale smorzatore verrà saldato direttamente dentro alle molle e sarà collegato ad un elettromagnete che lo azionerà in caso di necessita aprendo e chiudendo parzialmente il foro.

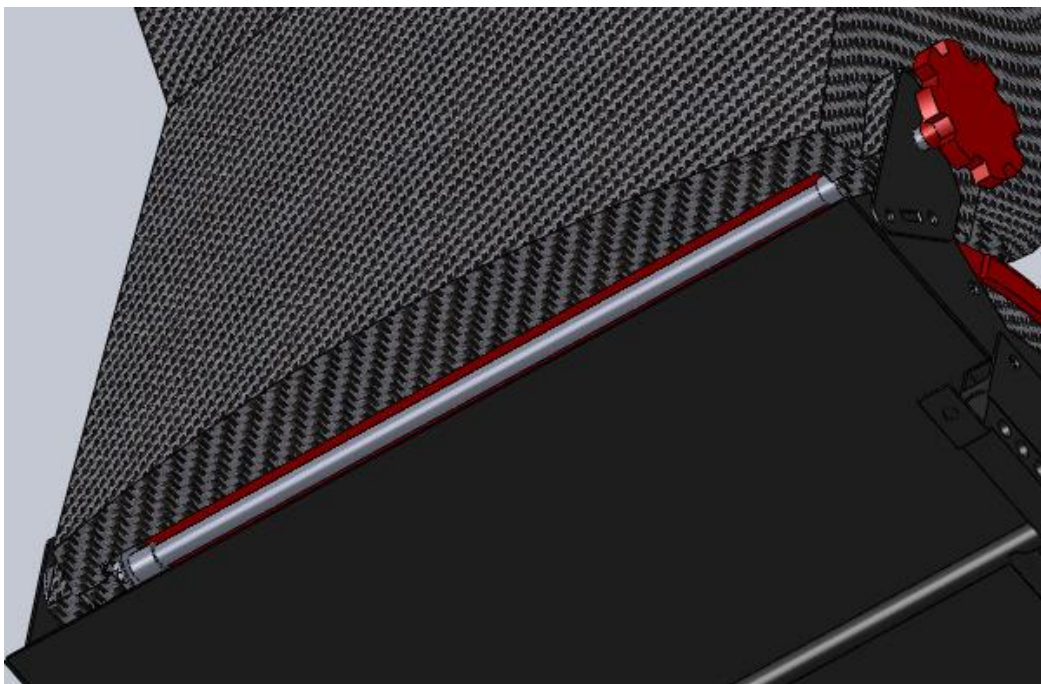


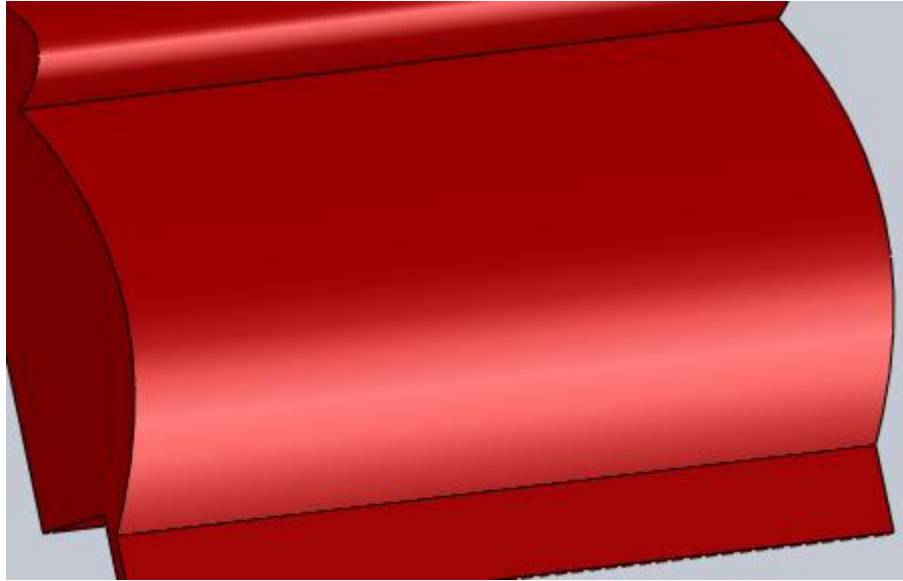
Il resto del sedile è abbastanza standard per un sedile sportivo: lo schienale e la base del cuscino sono in carbonio (per limitare il peso), il sistema di leveraggio alla base e il supporto per lo schienale sono in acciaio (C40).





Nella ricerca continua di migliorare il comfort, si è pensato poi di dividere in due parti il sedile, spezzandolo all'altezza del bacino, per consentire una regolazione angolare della sua inclinazione (cosa raramente possibile per un sedile destinato ad auto sportive) e di inserire nella zona lombare dello schienale un cuscino gonfiabile in modo che il guidatore possa regolare appunto il supporto lombare nel modo che ritiene opportuno.





Le molle utilizzate garantiscono una frequenza di 15 Hz.

Per evitare regolazioni del volume della molla errate, da parte del guidatore, si è munito il sedile di un sensore di posizione in modo che tale funzione avvenga autonomamente al sedersi del guidatore facendo sì che la rigidità delle molle sia quella ottimale rispetto al peso della persona.

I volumi (quello delle molle e quello ausiliario) sono stati regolati in modo da chiudersi a pacco per picchi di accelerazione di 3g.

Volume ausiliario: volume nelle molle non comprimibile che mi consente di regolare la rigidità in modo che non sia troppo elevata.

Il basamento del cuscino e dello schienale e il meccanismo di spostamento del sedile sono realizzati con Acciaio al carbonio (C40). I restanti materiali della progettazione sono quelli standard per i sedili sportivi, con una scocca in carbonio in cui sono posizionati i cuscini che possono poi essere ricoperti come meglio si crede.

Il riempimento del cuscino su cui ci si siede è molto importante ed un materiale, piuttosto che un altro, può fornire comfort differente e non

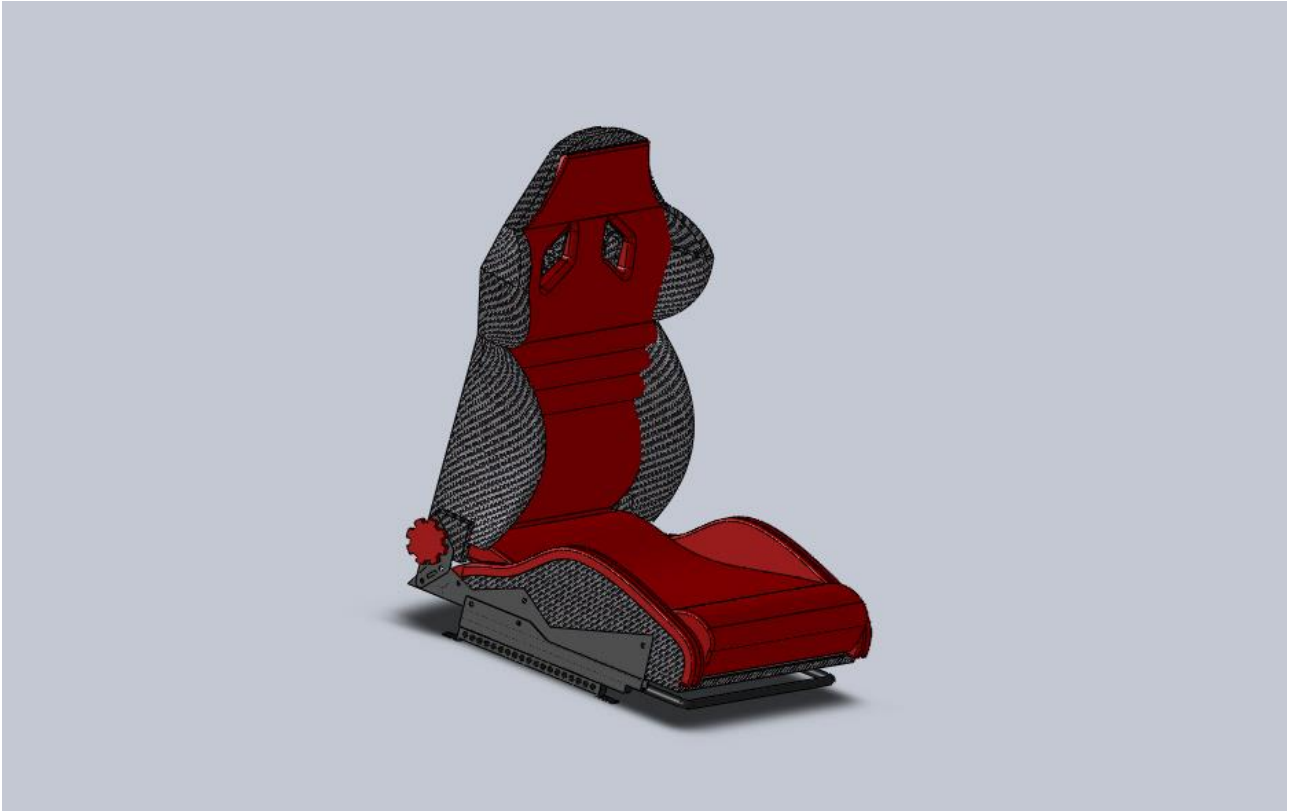
solo, può anche attenuare le vibrazioni trasmesse dal sedile al corpo umano.

Nello studio del mio progetto, sono andato a cercare i materiali migliori per garantire all'utente risultati prestazionali ottimali. La ricerca mi ha portato ad optare su due tipologie di riempimenti, non convenzionali per sedili automobilistici ma più che altro usate per materassi di cui ho già precedentemente descritto le caratteristiche, e sono:

- **Memory foam (gomma piuma di memoria)**
- **Tempur**

Per quanto riguarda il memory, affinché possa esplicitare la sua funzione correttamente, è necessario uno spessore minimo di 10 cm che comunque può soddisfare le nostre richieste dimensionali per lo spessore del cuscino, ma meno per quello che riguarda quelle di schienale e poggiatesta (in riferimento a vetture sportive).

In relazione al mio progetto, posso considerare il Tempur più conveniente rispetto al Memory, infatti, è un materiale che può essere utilizzato a spessori minori (ma ugualmente efficaci) rispetto al memory. Uno spessore di 5cm, può risultare sufficiente per beneficiare delle caratteristiche di tale materiale e quindi, non solo il cuscino, ma anche schienale e poggiatesta del sedile possono essere imbottite donando al guidatore un comfort di alto valore.



Analisi Statica

Il progetto è sviluppato per ottenere di base una frequenza naturale di 15 Hz. Utilizziamo per i calcoli una teorica massa tra i 60 e i 150 kg.

Sul sedile va calcolato il 75% del peso (vanno escluse le gambe), quindi dovremo valutare una massa tra i 45 kg e i 113 kg.

Sappiamo che la frequenza naturale è data da:

$$f_n = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{k/m} \text{ [Hz]}$$

dove k è la rigidità [N/m], m è la massa [kg]
quindi otteniamo che:

$$k = (2 \cdot \pi \cdot f_n)^2 \cdot m$$

nel caso minimo:

$$k_{\min} = (2 \cdot \pi \cdot 15)^2 \cdot 45 = 399 \cdot 719 \text{ [N/m]}$$

nel caso massimo:

$$k_{\max} = (2 \cdot \pi \cdot 15)^2 \cdot 113 = 1 \cdot 003 \cdot 739 \text{ [N/m]}$$

avendo 6 molle in parallelo ottengo per ogni molla:

$$k_{\min\text{MOLLA}} = 399 \cdot 719 / 6 = 66 \cdot 620 \text{ [N/m]}$$

$$k_{\max\text{MOLLA}} = 1 \cdot 003 \cdot 739 / 6 = 167 \cdot 290 \text{ [N/m]}$$

Calcoliamo ora la forza applicata:

$$F_{\min} = \text{MASSA}_{\min} \cdot g = 45 \cdot 9,81 = 442 \text{ [N]}$$

$$F_{\max} = \text{MASSA}_{\max} \cdot g = 113 \cdot 9,81 = 1109 \text{ [N]}$$

Quindi per ogni molla:

$$F_{\min\text{MOLLA}} = 442 / 6 = 74 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{MAXMOLLA}} = 1109/6 = 185 \text{ [N]}$$

Quindi otteniamo uno spostamento x della molla a carico base:

$$x = F_{\text{minMOLLA}}/K_{\text{min}} = F_{\text{maxMOLLA}}/K_{\text{MAX}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ [m]} = 1,1 \text{ [mm]}$$

Analisi Dinamica

Ora calcoliamo la dimensione del volume ausiliario.

Imponiamo le dimensioni della molla:

Parte esterna sopra:

$$D_1 = 0,164 \text{ [m]}$$

$$H_1 = 0,040 \text{ [m]}$$

Parte esterna sotto:

$$D_2 = 0,154 \text{ [m]}$$

$$H_2 = 0,040 \text{ [m]}$$

Invece le dimensioni dei volumi interni sono:

$$D_{1\text{in}} = 0,160 \text{ [m]}$$

$$H_{1\text{in}} = 0,035 \text{ [m]}$$

$$D_{2\text{in}} = ?$$

$$H_{2\text{in}} = ?$$

Dobbiamo dimensionarlo in base a delle considerazioni.

Lo vogliamo tale da mandare a pacco la molla per un'accelerazione di circa 3g.

Otteniamo:

$$S_{1in} = \pi \cdot R^2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$V_{1in} = S_1 \cdot H = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

Quindi utilizzando la forza massima, la pressione esercitata sulle molla è:

$$P_{MAX} = F_{MAXMOLLA} / S_1 = 9'250 \text{ Pa}$$

Mentre la forza esercitata per un'accelerazione di 3G sarà:

$$F_{MAX3GMOLLA} = 734 \text{ [N]}$$

Con una corrispondente pressione di

$$P_{MAX3GMOLLA} = F_{MAX3GMOLLA} / S_1 = 36'700 \text{ Pa}$$

Per ottenere la rigidezza desiderata, come abbiamo visto dobbiamo ottenere uno spostamento pari a 1,1 mm a carico base:
la variazione di 1,1 mm è pari a una riduzione di volume di:

$$V_x = S_1 \cdot x = 2,2 \cdot 10^{-5}$$

Considerando una compressione adiabatica ed utilizzando le equazioni di Poisson:

$$P \cdot V^\gamma = \text{costante}$$

Ed utilizzando azoto all'interno delle molle ($\gamma=1,404$) calcoliamo il volume minimo ausiliario (V_2) per ogni molla da utilizzare:

$$P_{\text{MAXMOLLA}} \cdot (V_{1\text{in}} + V_{2\text{in}} - V_x)^\gamma = P_{\text{MAXMOLLA}} \cdot (V_{2\text{in}})^\gamma$$

$$V_{2\text{in}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

Quindi le dimensioni interne della parte inferiore della molla saranno all'incirca:

$$D_2 = 0,116 \text{ [m]}$$

$$H_2 = 0,030 \text{ [m]}$$

CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati raccolti, posso dire che il progetto è stato realizzato con successo. Il sedile, dotato di un opportuno sistema di smorzamento delle vibrazioni, di un sistema per la regolazione dell'inclinazione dello schienale, oltre che di una imbottitura tecnologicamente avanzata e dalle elevate prospettive nel settore sportivo automobilistico, offre un comfort molto più elevato rispetto a quello dei consueti sedili sportivi.

L'unica pecca dell'utilizzo del TEMPUR come materiale di rivestimento del sedile, è l'incompatibilità con materiali di copertura come la pelle, solitamente molto usata nel settore delle auto sportive. La pelle infatti non consentirebbe la giusta traspirazione del materiale e, l'essenziale trasmissione di calore dal corpo umano al sedile, risulterebbe limitata, annullando così i benefici di questo materiale innovativo.

Bibliografia

- Dispensa sulle normative che regolano le dimensioni di sicurezza e comfort di un abitacolo di guida : <http://standards.sae.org/wip/j826/>
- E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti, “Lezioni di Meccanica applicata alle macchine: Parte prima”, 2009, Patron Editore.
- Costruzioni di macchine – Antonio Strozzi
- Il comfort dei veicoli – Roberto Corradi

Ringrazio il professor Piancastelli per la sua infinita disponibilità, per la sua pazienza e per avermi sempre incoraggiato a dare il massimo e seguito nella stesura della tesi.

Dedico la mia laurea ai miei genitori, che mi hanno sempre supportato per tutto il periodo di studi, colmo di momenti belli ma anche di momenti faticosi e duri e che ringrazio per la loro continua presenza, seppur non sempre fisica a causa della distanza che ci separa e per avermi insegnato che con dedizione, onestà ed umiltà si può raggiungere qualsiasi obiettivo.

Ringrazio mia sorella, per aver condiviso con me l'avventura da "forestieri" in una città in cui non conoscevamo nessuno, ma nella quale ci siamo saputi far apprezzare e la ringrazio per aver portato un po' più di allegria nella mia vita da fuorisede.

Ringrazio i miei colleghi di studio, i quali sono gli unici che realmente possono comprendere quanti sacrifici ci siano voluti per raggiungere la tanto sognata " laurea " e grazie ai quali studiare a Forlì non è stato poi tanto noioso. In particolare ringrazio Andrea il siculo, Ermete, Fru e Matteo che, pur conoscendo da pochi anni, si sono rivelati dei grandi amici.

Ringrazio i miei zii e i miei cugini perché hanno sempre creduto nelle mie possibilità, elogiandomi con gli altri più di quanto io stesso avrei fatto e che si sono sempre interessati dei miei studi e per aver sempre mostrato un grande affetto nei miei confronti.