

# CRITERI DI SCELTA DEL MATERIALE PER L'ALLEGGERIMENTO DI VETTURE SPORTIVE AD ALTE PRESTAZIONI

P. Veronesi, A. Pivetti, A. Baldini, M. Loiacono, G. Poli

*Per le vetture di lusso ad alte prestazioni, il primo elemento di competitività è dato dalle prestazioni dinamiche della vettura, ragion per cui il fattore peso sta assumendo nel tempo una rilevanza crescente. L'introduzione di normative sempre più severe in ambito di emissioni, strettamente correlate al consumo della vettura ha inoltre indotto i progettisti a spostare la propria attenzione non più sulla potenza pura ma sul rapporto potenza/peso. In questo ambito, è stato studiato l'alleggerimento di una vettura sportiva ad alte prestazioni, in particolare di una Lamborghini Murciélago, andando a proporre nuovi materiali per la realizzazione di particolari del gruppo sospensivo. Ottimizzando la scelta del materiale, è possibile ridurre il peso, rispetto alla soluzione attuale, del 30-35% relativamente alla molla sospensione anteriore, del 50-70% relativamente alla barra antirollio posteriore, nonché alleggerire il braccio anteriore inferiore dal 3 al 30%, dipendentemente dallo stato tensionale del componente, impiegando opportunamente acciai basso legati, leghe di alluminio e leghe di titanio.*

**PAROLE CHIAVE:** acciaio, alluminio e leghe, mat. compositi, titanio e leghe, selezione materiali

## INTRODUZIONE

Negli ultimi 20 anni la progettazione e realizzazione di autoveicoli ha subito notevoli cambiamenti per poter venire incontro a nuove e differenti esigenze da parte degli utenti. Innanzitutto sono cambiati gli standard per quanto riguarda confort e abitabilità: lo spazio a disposizione dei passeggeri è aumentato ad ogni nuova generazione di veicoli e con esso le dimensioni delle vetture.

Parallelamente a questo, la richiesta di vetture sempre più sicure per gli occupanti ma anche per i pedoni ha reso necessario un aumento delle dimensioni medie delle vetture e di conseguenza un aumento di peso delle stesse [1].

Negli ultimi anni ci si è però resi conto che questo trend non poteva proseguire poiché il miglioramento tecnologico di propulsori e combustibili, per quanto notevole, non sarebbe stato in grado di compensare l'aumento di peso delle vetture, soprattutto considerando le richieste sempre maggiori del mercato in termini di prestazioni dinamiche (migliore accelera-

zione, ripresa, maneggevolezza, minori consumi/emissioni). Il peso di una vettura infatti può influenzare numerosi parametri della progettazione oltre che le prestazioni del veicolo stesso:

- veicoli più pesanti richiedono maggiori potenze per ottenere prestazioni analoghe a mezzi più leggeri; questo comporta solitamente un maggiore consumo di carburante e quindi maggiori emissioni di CO<sub>2</sub>.

- Un peso maggiore significa anche maggiori inerzie e quindi minor prontezza di risposta ai comandi e minor piacere di guida.

- In caso di incidente una maggiore massa implica una maggiore energia cinetica da dissipare e quindi richiede delle prestazioni di resistenza strutturale maggiori da parte del veicolo

In questo ambito è opportuno inoltre ricordare i nuovi limiti di emissioni di CO<sub>2</sub> (130 g/km) imposti dalla Comunità Europea che entreranno in vigore nel 2012: per riuscire a rientrare in tali limiti sarà fondamentale lavorare su una riduzione dei pesi delle vetture, perché la sola efficienza dei motori non sarà assolutamente sufficiente. I problemi maggiori li incontreranno sicuramente le vetture di dimensione medio-grande, nonché quelle ad alte prestazioni, che sono l'oggetto di studio del presente lavoro.

Nel settore delle vetture di lusso ad alte prestazioni il primo elemento di competitività è dato dalle prestazioni dinamiche della vettura; in questo settore, il fattore peso sta assumendo nel tempo una rilevanza sempre maggiore. L'introduzione di normative sempre più severe in ambito di emissioni, strettamente correlate al consumo della vettura ha infatti indotto i progettisti a spostare la propria attenzione non più sulla potenza pura

**P. Veronesi, G. Poli**

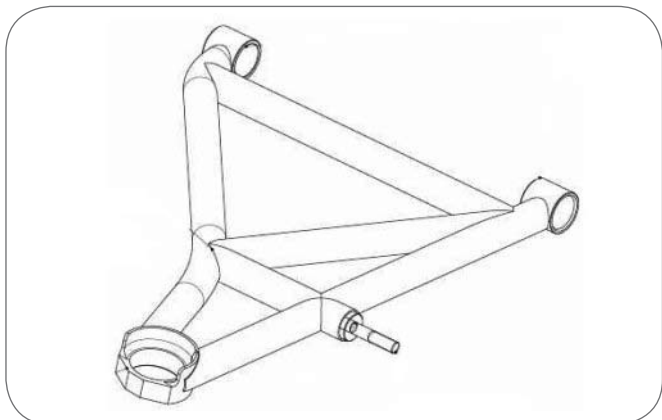
Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente,  
Via Vignolese 905, 4110 Modena - Italy

**A. Baldini, M. Loiacono**

Dipartimento di Ingegneria Meccanica,  
Via Vignolese 905, 4110 Modena - Italy

**A. Pivetti**

Lamborghini, Via Modena 12, S. Agata Bolognese - Bologna - Italy



▲  
Fig. 1

**Gruppo sospensivo: braccio anteriore inferiore.**  
*suspension system: front lower arm.*

ma soprattutto sul rapporto potenza/peso. Ciò può essere conseguito cercando di ridurre il peso della vettura il più possibile. L'alleggerimento della vettura non può prescindere dalla scelta dei materiali e dei processi, che però deve essere condotta in maniera oculata e su basi razionali. Troppo spesso, infatti, nella realizzazione di un nuovo componente ci si basa solo sulle conoscenze pregresse: ciò significa che si tende spesso a utilizzare quei materiali che per esperienza ed uso comune sono stati utilizzati in passato. Questo approccio, però, limita notevolmente l'inventiva e non porta quasi mai a scelte e soluzioni innovative.

Nel presente lavoro si è scelto di adottare una procedura basata su un processo di scelta il più possibile oggettivo e di ampio respiro [2] costituito da quattro fasi consecutive di traduzione dei requisiti di progetto, screening, classificazione e ricerca informazioni di supporto sui materiali candidati per l'applicazione di interesse. Verranno presentate tre applicazioni del processo di selezione dei materiali a componenti differenti dell'autovettura, precisamente una Lamborghini Murciélago, focalizzando l'attenzione su parti del gruppo sospensivo, quali braccio anteriore inferiore, molla anteriore e barra antirollio posteriore.

### ANALISI ED ALLEGGERIMENTO BRACCIO ANTERIORE INFERIORE

Il componente, rappresentato in Fig. 1, è fissato da un lato al telaio mediante due boccole e dall'altro al portamozzo. Circa a metà lunghezza del braccio è presente una vite prigioniera sulla quale viene fissata la barra antirollio.

Considerando le diverse sollecitazioni a cui il braccio è sottoposto in seguito agli scuotimenti del portamozzo e alle forze laterali in curva, si può in prima approssimazione considerare il componente come un tirante o puntone, ovvero soggetto unicamente a sforzo normale. In realtà la presenza dell'attacco alla barra antirollio e le forze longitudinali agenti sul veicolo generano un momento flettente sul braccio, che quindi può comportarsi in certe situazioni anche come una trave.

Attualmente, il componente è realizzato impiegando due materiali: le boccole di fissaggio al telaio ed al portamozzo sono in acciaio al carbonio, con allungamento a rottura del 22%; i tubi trafilati e saldati sono realizzati sempre con un acciaio al carbonio, ma avente caratteristiche meccaniche leggermente inferiori

### Traduzione dei requisiti di progetto

Per il componente in esame, il vincolo tecnico più stringente è legato alla sua rigidità in esercizio.

Il braccio, infatti, deve svolgere una funzione di guida per il portamozzo, influenzando quindi sia il comportamento cinematico che dinamico della sospensione: è quindi importante che la rigidità del componente sia elevata, per limitare al massimo gli scostamenti dal comportamento ideale della sospensione. Deformazioni eccessive potrebbero incidere in maniera negativa sul comportamento dinamico della vettura. Dal punto di vista della resistenza meccanica, ovviamente il braccio deve poter reggere tutti i carichi a cui è sottoposto, senza subire deformazioni plastiche e riducendo al minimo masse e ingombri. Dato il tipo di impiego, il materiale utilizzato per il componente dovrà anche essere facilmente saldabile e resistente a corrosione.

Riassumendo, in accordo con il metodo esposto in [2], la traduzione dei requisiti di progetto è la seguente:

- Funzione: tirante/puntone con funzione di guida per il mozzo ruota
- Vincoli: rigidità elevata, allungamento a rottura >15%, sufficiente resistenza strutturale, buona resistenza a fatica e a corrosione
- Obiettivo: minimizzare la massa del componente
- Variabile libera: materiale da utilizzare, forma geometrica delle sezioni

### Screening e classificazione: calcolo indici di prestazione e individuazione materiali alternativi

Considerando lo stato tensionale del componente, due indici di prestazione del materiale da utilizzare per valutare le prestazioni del componente, e da massimizzare, sono quelli relativi a rigidità e resistenza per un tirante:

$$(1) \quad M_1 = \frac{E}{\rho}$$

$$(2) \quad M_2 = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

dove  $E$  = modulo di Young,  $\rho$  = densità,  $\sigma_f$  = resistenza del materiale, nel senso di un suo collasso strutturale, che nel caso di metalli si fa corrispondere alla resistenza allo snervamento.

Qualora il componente si trovi a lavorare a flessione, sono da considerare altri due indici del materiale relativi a rigidità e resistenza riferite ad una trave, ovvero:

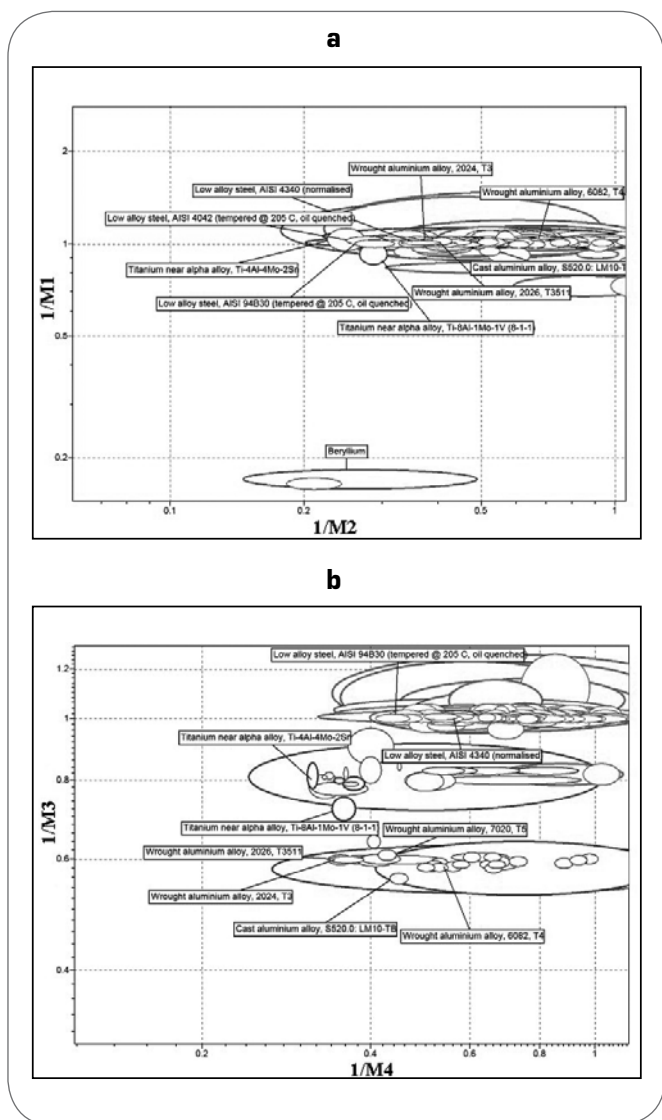
$$(3) \quad M_3 = \frac{\sqrt{E}}{\rho}$$

$$(4) \quad M_4 = \frac{\sigma_f^{3/2}}{\rho}$$

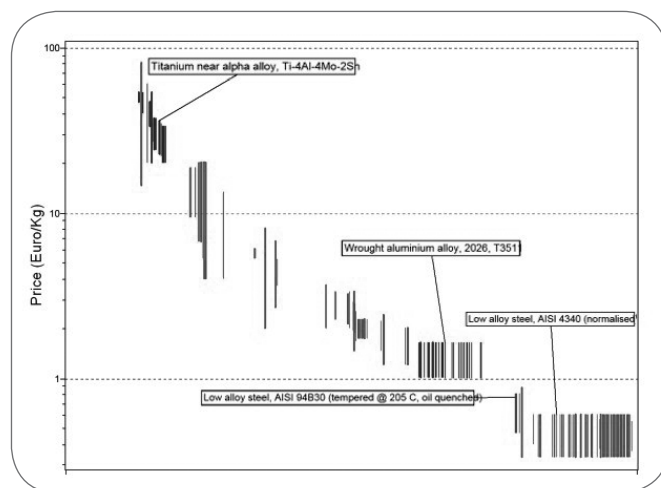
Lo screening dei materiali utilizzabili per l'applicazione può essere condotto per via grafica, utilizzando appositi software, come il CES-Cambridge Engineering Selector (Grantadesign). Su due assi ortogonali vengono quindi rappresentati gli indici di prestazione dei materiali candidati, eventualmente rapportati agli indici calcolati per il materiale in uso. In quest'ultimo caso, il materiale attualmente in uso si troverà alle coordinate (1,1). Per convenzione, si preferisce condurre la scelta minimizzando gli indici di prestazione, per cui sarà sufficiente considerare l'inverso degli indici espressi nelle equazioni 1-4.

In Fig. 2 sono rappresentati i grafici di selezione relativi al componente in oggetto, considerato come tirante rigido di massa minima (a) o come trave rigida di massa minima (b), rapportato alla soluzione attualmente in uso. Data l'inversione degli indici, i materiali con prestazioni migliori della soluzione attuale giaceranno nel terzo quadrante.

Tutti i materiali posti nel terzo quadrante rappresentano soluzioni



**Fig. 2** *diagrammi di scelta per tirante rigido di massa minima e per trave rigida di massa minima, con indici dei materiali rapportati al materiale attualmente in uso per il componente.*  
*Selection diagrams for a stiff tie having minimum mass and for stiff beam having minimum mass; materials indexes are normalized to the properties of the material currently used for the component.*



**Fig. 3** *Costo per unità di massa dei materiali – data-base CES-Edupack 2005.*  
*Suspension system: front lower arm.*

ni alternative in grado di conferire migliori prestazioni al componente, relativamente all'obiettivo individuato e ai vincoli agenti. Un fattore inizialmente non considerato, ma che può giocare un ruolo determinante nella scelta del materiale, è il costo. In Fig. 3 è rappresentato il diagramma relativo al costo per unità di massa di differenti tipologie di materiali, con indicate le barre relative ad acciai, leghe di alluminio e titanio.

Dall'analisi dei grafici di Fig. 2 e 3, si può notare come dal punto di vista della rigidità specifica (M1), si ha una famiglia di materiali in grado di avere prestazioni superiori all'acciaio: le leghe di titanio; tuttavia i miglioramenti sono possibili ma in misura ridotta (pochi punti percentuali) e a costi nettamente maggiori. Non sembra quindi opportuno proseguire verso una scelta del genere, considerando i limitati vantaggi in rapporti ai costi. Dal punto di vista della resistenza specifica (M2), invece, si possono ottenere miglioramenti considerevoli.

Relativamente alle prestazioni di rigidità flessionale, i grafici mostrano che vi sono soluzioni in grado di fornire buoni miglioramenti: in particolare le leghe di alluminio sembrano offrire le migliori soluzioni.

La rosa di candidati per l'applicazione, si restringe pertanto ai materiali riportati in Tab. 1, con i relativi indici di prestazione riferiti al materiale attualmente in uso (apice "0").

**Informazioni di supporto e scelta del materiale**

Le informazioni ricavate dagli indici di prestazione hanno

Materiale	M <sub>1</sub> /M <sub>1</sub> <sup>0</sup>	M <sub>2</sub> /M <sub>2</sub> <sup>0</sup>	M <sub>3</sub> /M <sub>3</sub> <sup>0</sup>	M <sub>4</sub> /M <sub>4</sub> <sup>0</sup>
AISI 94B30 (G94301), temprato e rinvenuto a 205°C	1.02	5.50	1.00	2.3
AISI 4042 (DIN 42MnMo7), temprato e rinv. a 205°C	1.00	3.59	1.00	2.3
AISI 4340 (UNI 40NiCrMo7), normalizzato	1.10	2.60	1.00	1.9
Al-Lega da getto S520.0	1.06	1.92	1.79	2.2
Al-2026 T3	1.00	2.77	1.68	2.8
Al-2024 T3	0.99	2.50	1.67	2.6
Al-6082 T4 (anche forgiato)	0.99	1.53	1.69	1.9
Al-7020 T5	0.96	2.15	1.64	2.3
Al-7033 T6	0.96	3.07	1.67	3.0

**Tab. 1** *indici di prestazione dei materiali candidati.*  
*Materials indexes for candidate materials.*

permesso di individuare una rosa di candidati, tra cui scegliere il materiale migliore. Si ricorda che le informazioni presenti nei database sono comunque generiche, a bassa precisione, soprattutto relativamente a parametri resistenziali quali resistenza a corrosione e fatica.

Per quanto riguarda gli acciai, le proprietà di resistenza a corrosione e a fatica sono ben note e più che sufficienti, considerando anche quanto già noto per applicazioni precedenti. Analogamente, le leghe di alluminio, eventualmente anodizzate, offrono buone proprietà di resistenza nei tipici ambienti stradali. Per quanto riguarda la resistenza a fatica le leghe di alluminio individuate presentano buone prestazioni, soprattutto le serie 2000 e 7000, sebbene sia noto che il diagramma di Wohler per tali leghe non raggiunga mai condizioni di stazionarietà al crescere del numero di cicli di fatica, al contrario di quanto avviene per le leghe ferrose. Pertanto, le possibili soluzioni ottimali sono fondamentalmente due a seconda dei vincoli prestazionali/di progetto:

- se la sollecitazione principale agente sul componente è quella a trazione, mentre quella a flessione è trascurabile, allora la soluzione migliore è ancora data dagli acciai ad alta resistenza (acciai basso legati o acciai a basso contenuto di carbonio);
- se invece la sollecitazione principale è quella di flessione, le leghe di alluminio rappresentano sicuramente la scelta migliore; in particolare se il vincolo progettuale più stringente è quello di rigidità le leghe della serie 6000 rappresentano la scelta più opportuna; se è la resistenza a limitare le prestazioni allora la scelta migliore è data dalle leghe delle serie 2000 e 7000. Come già sottolineato è opportuno verificare sempre le prestazioni di resistenza a corrosione e a fatica della lega selezionata.

### ANALISI ED ALLEGGERIMENTO MOLLA SOSPENSIONE ANTERIORE

La molla cilindrica della sospensione anteriore è un componente sottoposto ad elevate sollecitazioni statiche ma soprattutto dinamiche (ovvero a fatica) ed ha come scopo principale quello di immagazzinare e restituire la maggior parte possibile dell'energia causata dagli scuotimenti della sospensione. In fase di progettazione del cinematismo della sospensione e di conseguenza del comportamento dinamico del veicolo, uno dei parametri di progetto fondamentali da stabilire è dato dalla rigidità della molla. Parallelamente, un altro aspetto da tenere in considerazione riguarda il calcolo e la verifica degli ingombri massimi.

#### Traduzione dei requisiti di progetto

Analogamente al procedimento seguito per il caso precedente, la traduzione dei requisiti di progetto porta alle seguenti condizioni:

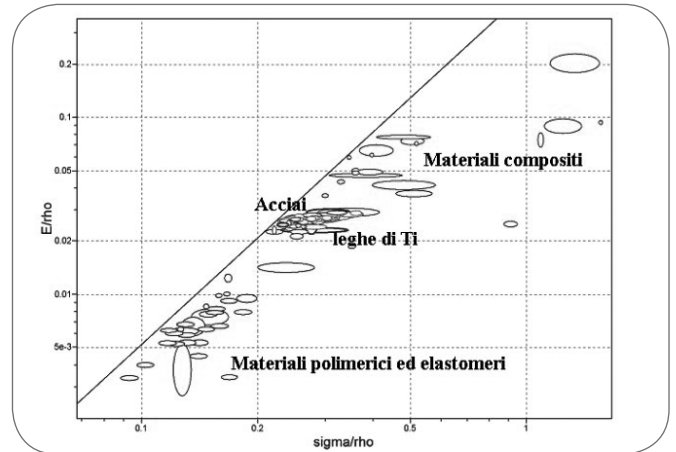
- Funzione: immagazzinare e restituire energia con le minori dissipazioni possibili
- Vincoli: resistenza ai carichi in esercizio; resistenza a fatica; resistenza alla corrosione; rigidità prestabilita; coefficiente di perdita inferiore a 0.01; ingombro compatibile con spazi disponibili
- Obiettivo: minimizzare la massa del componente
- Variabile libera: materiale da utilizzare

#### Screening e classificazione: calcolo indici di prestazione e individuazione materiali alternativi

L'indice di prestazione per un materiale per molle efficienti e leggere è noto da letteratura [3] ed è pari a:

$$(5) \quad M_1 = \frac{\sigma^2}{\rho E}$$

Risulta utile esprimere l'indice dell'equazione (5) in forma logaritmica, ovvero:



▲  
Fig. 4

#### Diagramma di scelta per molla efficiente e leggera.

Material selection chart for efficient and light spring.

$$(6) \quad \text{Log}\left(\frac{\sigma^2}{\rho E}\right) = \text{Log}(M_1), \text{ da cui } 2\text{Log}\left(\frac{\sigma}{\rho}\right) - \text{Log}(M_1) = \text{Log}\left(\frac{E}{\rho}\right)$$

che rende possibile visualizzare i materiali candidati su un grafico di scelta con assi la resistenza specifica e il modulo elastico specifico.

Il materiale attualmente utilizzato è un acciaio per molle ad alta resistenza basso legato, contenente Silicio e Cromo; il materiale rispetta le specifiche della normativa tedesca DIN 17223/2. Il trattamento termico di tempra e rinvenimento è prescritto su questo tipo di acciai per aumentarne le proprietà di resistenza a rottura. Il trattamento superficiale di pallinatura viene invece impiegato per aumentare le proprietà di resistenza a fatica del componente.

Il relativo diagramma di scelta è riportato in Fig. 4, insieme alla retta di selezione, che altro non che la rappresentazione dell'equazione (6). Spostando l'intercetta all'origine verso il basso corrisponde ad aumentare l'indice M1; pertanto, traslando la retta si selezioneranno materiali via via più prestazionali.

La rosa decisamente ampia di materiali apparentemente utilizzabili non tiene conto dell'ingombro: materiali con basso E, come i materiali polimerici, infatti, richiedono che si debba realizzare la molla con sezioni di filo molto grandi, impedendo quindi al componente di essere installato nell'ammortizzatore esistente. Per quanto riguarda i materiali compositi con rinforzo a fibra lunga, è evidente la difficoltà realizzativa di un componente come la molla cilindrica. Essi sono tuttavia ottimi candidati per la realizzazione di elementi elastici efficienti e leggeri, sebbene con altre geometrie [4].

Considerando anche il fattore costo (omesso nel presente lavoro), l'elenco di materiali candidati si restringe a:

- Leghe di titanio: Ti4.5Fe6.8Mo1.5Al (TIMETAL® LCB); Ti3Al8V6Cr4Zr4Mo ("Ti 38644"); Ti15V3 Cr3Sn3Al; Ti6Al2Sn-2Zr2Mo; Ti6Al6V2Sn (6-6-2); Ti6Al2Sn2Zr2Mo; Ti6Al4V
- Acciai: AISI 5160 (DIN 65MnCr4), temprato e rinvenuto; AISI 9255 (UNI 55Si8), temprato e rinvenuto

#### Informazioni di supporto e dimensionamento del componente

Individuati i migliori materiali per ogni famiglia è possibile effettuare un calcolo di primo dimensionamento e di conseguenza una stima della possibile riduzione di peso. La molla in esame lavora unicamente in compressione: è sottoposta ad una forza statica costante legata al peso della vettura; oltre a tale forza vi sono altre sollecitazioni dinamiche legate allo schiacciamento della



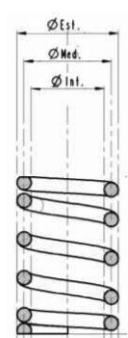
molla in seguito a variazioni della quota z del contatto ruota-suolo. In ogni caso, per qualsiasi scuotimento della sospensione la molla rimane sempre sollecitata a compressione. Il filo della molla è avvolto a spirale attorno ad un cilindro fittizio di diametro costante, denominato diametro di avvolgimento. Come già accennato, il componente deve rispettare determinati ingombri per consentirne il montaggio: in particolare un parametro che non può essere modificato è il diametro interno della molla. Tale quota è infatti limitata dalla necessità di montare all'interno della molla l'ammortizzatore. Un'altra specifica tecnica che non deve essere modificata è la rigidità; tale parametro influenza il comportamento dinamico della vettura e viene quindi stabilito in fase progettuale per ottenere le prestazioni dinamiche volute. Anche questo parametro verrà quindi mantenuto costante. Per quanto riguarda la lunghezza della molla, si cercherà di mantenerla il più possibile simile a quella di origine, in modo da ridurre al minimo eventuali modifiche su componenti necessari al fissaggio della molla, come per esempio i piattelli; ovviamente esistono limitazioni legate all'ingombro longitudinale ma una variazione di qualche millimetro può essere concessa. Va osservato che si tratta di una molla con passo e diametro medio di avvolgimento costanti; la sua caratteristica forza-spostamento sarà quindi lineare. Il dimensionamento ha portato ai valori riportati in Tab. 2, espressi in termini di variazione percentuale per ragioni di riservatezza.

**ANALISI ED ALLEGGERIMENTO BARRA ANTIROLLO**

La barra antirollio svolge un compito di ausilio al sistema sospensivo solamente in situazioni in cui si ha trasferimento di carico. Gli estremi della barra sono fissati ai bracci superiori del sistema sospensivo: in tal modo quando si verifica un trasferimento di carico tra le due ruote dell'assale, gli scuotimenti verticali di verso opposto tra le due ruote generano un momento torcente sulla barra, che quindi viene sollecitata a torsione. Il componente è mostrato in Fig. 5.

Un parametro fondamentale che sintetizza il comportamento della barra stessa è la sua rigidità torsionale: più la barra è rigida maggiore sarà la resistenza che essa opporrà e di conseguenza minori saranno gli scuotimenti del sistema sospensivo dell'assale.

Nel dimensionare il componente quindi l'aspetto principale da

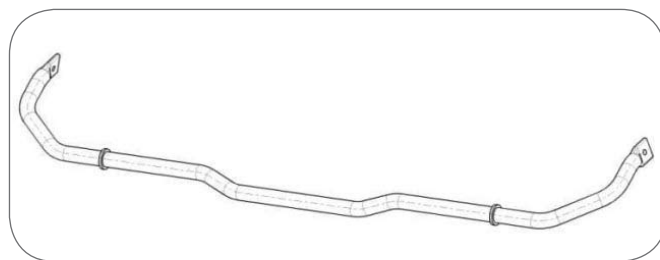


	Ti38644 TIMETAL	
d <sub>r</sub>	+15%	+12,14%
Di	Invariato	invariato
De	+4,19%	+3,39%
Dm	+2,44%	+1,97%
L <sub>0</sub>	-0,35%	-3,46%
L <sub>e</sub>	-0,37%	-3,63%
L <sub>s</sub>	-0,47%	-4,65%
L <sub>ver</sub>	-0,57%	-5,68%
L <sub>d</sub>	-0,62%	-6,13%
L <sub>b</sub>	-0,76%	-7,49%
Riduzione peso	29,0%	35,7%

▲ Tab. 2

**Dimensionamento della molla in lega di titanio e relativa riduzione di peso.**

*Dimensioning of titanium alloy spring and consequent weight reduction.*



▲ Fig. 5

**Barra antirollio.**

*Anti-roll bar.*

tenere in considerazione sarà la rigidità torsionale che si vorrà ottenere; come si vedrà in seguito tale proprietà dipende sia da quote dimensionali (diametro della barra, lunghezza del braccio di torsione) che dalle proprietà del materiale.

**Traduzione dei requisiti di progetto**

Oltre alle funzioni esposte al paragrafo precedente, un parametro importante per la selezione del materiale è la massima temperatura di esercizio: la barra infatti è situata in prossimità del motore e dell'impianto di scarico della vettura, e si troverà quindi a lavorare ad una temperatura leggermente superiore a quella ambiente. Come limite inferiore è stata imposta una temperatura di lavoro di 70° C.

Un altro aspetto da tenere in considerazione è il comportamento del materiale in caso di frattura: la caratteristica desiderata, ovviamente, è che in caso di cedimenti il materiale non ceda di schianto ma resista il più possibile alla propagazione della cricca. Il parametro solitamente utilizzato per definire il comportamento di un materiale in caso di cedimento è la tenacità a frattura. La traduzione dei requisiti di progetto è la seguente:

- Funzione: barra di torsione
- Vincoli: rigidità torsionale, resistenza a rottura, resistenza a fatica e ad agenti atmosferici, vincoli geometrici di ingombro; temperatura di impiego superiore a 70°C; tenacità a frattura superiore a 15 MPa m<sup>1/2</sup>.
- Obiettivo: ottenere rigidità di progetto con minimo peso
- Variabile libera: materiale da utilizzare, dimensione della sezione resistente

Screening e classificazione: calcolo indici di prestazione e individuazione materiali alternativi

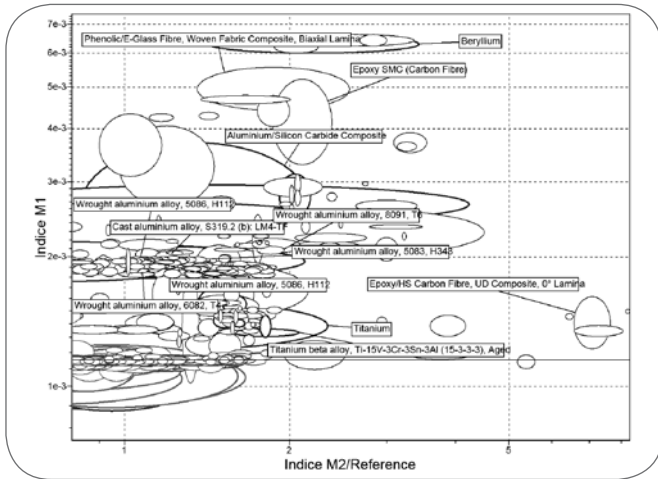
L'indice di prestazione per la rigidità torsionale e per la resistenza torsionale sono i seguenti [5]:

$$(7) \quad M_1 = \frac{G^{1/2}}{\rho}$$

$$(8) \quad M_2 = \frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$$

Il relativo diagramma di scelta, nella zona di interesse, è riportato in Fig. 6.

In base alle considerazioni effettuate in precedenza relativamente all'utilizzo di componenti in materiale composito, la scelta più ragionevole sembra quella delle leghe di alluminio da trattamento termico e/o deformazione plastica. In base all'analisi del grafico le leghe migliori sono quelle delle serie 5000 e 2000. In particolare le leghe migliori sono quelle della serie 5000, che presentano caratteristiche di resistenza sufficienti e una densità leggermente inferiore rispetto alle altre serie, massimizzando così l'indice di prestazione. Una scelta opportuna potrebbero essere le leghe 5052 e 5086. Tuttavia, semplificando la geometria del componente,



▲  
Fig. 6  
?????????  
?????????

anche una barra di torsione in materiale composito come CFRP a matrice epossidica.

### Informazioni di supporto e dimensionamento del componente

Sulla base dei materiali individuati, il dimensionamento del componente porta alle variazioni esposte in Tab. 3.

	Al-5052	CFRP
Diametro esterno	+39.3%	+46.4%
Spessore	invariato	invariato
Rigidità	-0.8%	+2,31 %
Carico statico max	41.6 MPa	37.1 MPa
Coeff. di sicurezza	3.2	4
Coeff. di sicurezza a fatica	3.2	3.2
Riduzione di peso	49.8%	69.7%

▲  
Tab. 3  
Dimensionamento barra antirollio e riduzione di peso.  
Dimensioning of the anti-roll bar and weight reduction.

Considerando il rapporto prestazioni/costo, l'utilizzo della lega di alluminio rimane sicuramente la scelta migliore: la riduzione di peso ottenibile è molto vicina a quella della fibra di carbonio, ma a costi decisamente inferiori.

### CONCLUSIONI

Per effettuare lo studio di alleggerimento è stato adottato un metodo basato su criteri oggettivi [2].

Grazie a questo metodo, implementato tramite software, è stato possibile compiere un'analisi dettagliata delle possibili soluzioni alternative in termini di scelta dei materiali. La bontà e l'affidabilità del metodo è stata verificata anche tramite un dimensionamento dei componenti, che ha mostrato come una scelta oculata del materiale possa portare a significative riduzioni di peso.

Riassumendo i risultati ottenuti per i due componenti dimensionati sono i seguenti:

	Riduzione di peso stimata	Indice di prestazione utilizzato
Molla sospensione anteriore	30-35%	$\sigma_f^2 / \rho E$
Barra antirollio posteriore	50-70%	$G^{1/2} / \rho$

Per quanto riguarda il braccio anteriore inferiore non è immediato poter fare stime di peso affidabili: molto dipende infatti da quale sollecitazione prevalga e quale sia il vincolo progettuale più stringente. Comunque analizzando tutti e quattro gli indici di prestazione si può ipotizzare un range di diminuzione del peso che va dal 5 al 30 %, a seconda di quale sia la prestazione da massimizzare.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Dati tratti da: European aluminium association: [www.eaa.net](http://www.eaa.net)
- [2] M. F., ASHBY, La scelta dei materiali nella progettazione industriale, CEA, (2007).
- [3] W.L. JOHNSON. Mater. Sci. Forum 225-227 (1996), p. 47.
- [4] W.J. YU and H.C. KIM, Compos Struct 9 (1998), p. 279-300.
- [5] M.F. ASHBY and D. CEBON, Case studies in materials selection, Granta Design Ltd, Cambridge, UK, 1995

## ABSTRACT

### MATERIALS SELECTION CRITERIA FOR THE WEIGHT REDUCTION OF HIGH PERFORMANCE SPORTS CAR

Keywords: material selection, steel, composite materials, titanium and alloys

For high-performance luxury cars, the first element of competitiveness is given by the dynamic performances. Thus, weight reduction is becoming increasingly important, also in the framework of the introduction of more and more restrictive regulations on emissions. Designers are currently focusing on maximizing the power/weight ratio, and the proper material selection becomes mandatory. This paper describes the weight reduction achievable on the suspension system of a Lamborghini Murcielago, showing that the use of high strength low alloy steels as well as titanium and aluminum alloys allows to reduce weight of selected components of more than 30%.

Three different components of the suspension system have been analyzed: the

front lower arm (fig. 1), the front suspension spring (Table II) and the anti-roll bar (fig. 5). According to the method proposed by M.F. Ashby [2], the design requirements have been translated into a series of constraints, objectives and free variables, leading to the definition of material indexes (equations 1-8) to be used to rank the materials in order to identify the most suitable ones. Ranking was accomplished using the CES (Cambridge Engineering Selector, Granta-design) software, which allows to create selection charts like the ones shown in Fig. 2, 3, 4, 6. Those diagrams help the designer to select graphically the candidate materials for the application, which, for the studied cases, resulted to be:

- Low alloy steels or aluminum alloys (Table II) for the front lower arm
- Titanium or spring steel (fig. 1), for the front suspension spring
- Aluminum alloy for the anti-roll bar

Dimensioning of the components on the basis of the selected materials is presented as well, demonstrating that a proper materials selection procedure allows to significantly decrease the weight of the studied components with respect to the current solutions.