



**PROTOLABS**  
Manufacturing. Accelerated.



# RIDURRE IL PESO DEI COMPONENTI PER LE APPLICAZIONI AUTOMOTIVE

PROCESSO DI PRODUZIONE E  
CONSIDERAZIONI SUL PESO DEI MATERIALI

## CONTENTS

L'adozione del magnesio	3
Alternative in plastica	4
Soppesare le diverse opzioni di produzione	6
Considerazioni finali	8



Livelli sempre più alti di smog e inquinamento, fluttuazioni dei prezzi dei carburanti, timori ambientali relativi alle attività di fracking (fratturazione idraulica) e di trivellazione offshore — molti sono i motivi che spingono ad aumentare l'efficienza dei carburanti, tanto nei veicoli adibiti al trasporto passeggeri quanto in quelli commerciali. Una delle soluzioni migliori per ottenere questo risultato è ridurre il peso dei veicoli. Automobili più leggere fanno sì che i consumatori utilizzino meno carburante, contribuendo ad ottenere una migliore qualità dell'aria e a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili che, una volta esauriti, non potranno più essere sostituiti. In parole semplici, ha senso produrre veicoli leggeri.

Nei prossimi decenni, i produttori di veicoli e i loro fornitori si troveranno costantemente impegnati in una difficile battaglia per progettare e produrre componenti automotive più leggeri e più efficienti. Le iniziative di riprogettazione, richieste dalla normativa europea e mondiale, e guidate dal mercato, stanno creando una “tempesta perfetta” in termini di attività di sviluppo dei prodotti, che vede coinvolti i fornitori automotive. Persino nel settore commerciale, esistono numerose opportunità di semplificare i design, ridurre il peso e utilizzare meno materiale, aspetti questi che vanno a vantaggio dei consumatori e del pianeta.

Il passaggio a prodotti e componenti più leggeri inizia spesso con la prototipazione, per la quale la scelta del materiale e del processo di produzione riveste un'importanza assoluta.

## L'adozione del magnesio

Un aspetto che occorre considerare prima di imbarcarsi in qualsiasi progetto di riduzione del peso è di esaminarlo scomponendo l'unità in vari pezzetti. A meno che stiate creando o riprogettando un alloggiamento per la trasmissione di un autoarticolato a 18 ruote ad alta efficienza energetica, sarà difficile ridurre in modo significativo il peso di un singolo pezzo. La soluzione logica per ottenere la riduzione del peso di un veicolo adibito al trasporto passeggeri, è quella di ridurre leggermente il peso di ciascun componente. Lo specchietto retrovisore utilizzato negli autoveicoli, ad esempio, un tempo era sufficientemente pesante da poterci piantare un chiodo dentro. Oggi, la maggior parte degli specchietti retrovisori è formata da un telaio in magnesio e da un involucro in plastica, eppure possiede la stessa resistenza e funzionalità dei suoi cospicui predecessori. Il trucco consiste nello sviluppare prodotti che soddisfino i requisiti di contenimento dei costi e di applicazione, ma utilizzino materiali alternativi e design intelligenti per ridurre il peso.

Fortunatamente per i progettisti, la vasta offerta di materiali di prototipazione e tecnologie di produzione avanzate attualmente disponibili offre opportunità innovative per eseguire prove iterative a percorso parallelo. Per esempio, quando si considera l'idoneità di un materiale per il design della ghiera di un faro anteriore leggero, potrebbe essere una buona idea iniziare dal magnesio.

Con una densità di 1740 kg / m<sup>3</sup>, il magnesio è il più leggero di tutti i metalli strutturali, ed ha anche il rapporto resistenza-peso più elevato. È ampiamente utilizzato nei settori automotive, aerospaziale, medicale ed elettronico, e viene impiegato ovunque,

dai serbatoi per il carburante alle scatole degli ingranaggi. E poiché il magnesio è uno dei minerali più abbondanti nel corpo umano, non solo è biocompatibile ma anche biodegradabile, per cui rappresenta una scelta logica per la realizzazione di viti, perni e altri impianti autoassorbenti che richiedono una resistenza superiore rispetto a quelli in polimeri biodegradabili.

Il magnesio viene solitamente fresato in modo da ottenere una varietà di pezzi per prototipi. Rispetto all'alluminio, il secondo materiale più leggero, risulta essere più dispendioso al chilo ma la differenza di prezzo viene in un certo modo compensata dal peso del magnesio, che risulta essere il 33% più leggero, e dalla sua resistenza paragonabile a quella dell'alluminio. Viene anche lavorato facilmente a macchina sebbene occorra prestare attenzione al controllo dei trucioli generati dalle lavorazioni, che si possono infiammare in ambienti a elevato contenuto di ossigeno.

Per chi teme che i componenti in magnesio si possano incendiare sul campo, non deve preoccuparsi, in quanto il magnesio è presente ovunque. Il Maggiolino della Volkswagen per decenni è stato dotato di un blocco motore in lega di alluminio e la BMW ha iniziato ad usare il magnesio per il basamento della sua N52 a sei cilindri e i coperchi delle teste dei cilindri nel 2005. I gradi AZ31 e AZ91 della lega in magnesio usati da Protolabs possono essere persino saldati e hanno un punto di fusione di circa 482°C. Se non dovete progettare il rivestimento interno leggero di un forno, il magnesio rappresenta una scelta eccellente per molti componenti diversi. In tutto il mondo, le aziende del settore automotive stanno utilizzando sempre più il magnesio per la sua resistenza, leggerezza e abbondante offerta, in quanto può essere estratto dall'acqua di mare.



Specchietto retrovisore con telaio in magnesio e involucro in plastica.



La BMW ha iniziato a usare il magnesio per produrre il basamento della sua N52 a 6 cilindri e i coperchi delle teste dei cilindri nel 2005.

## Alternative in plastica

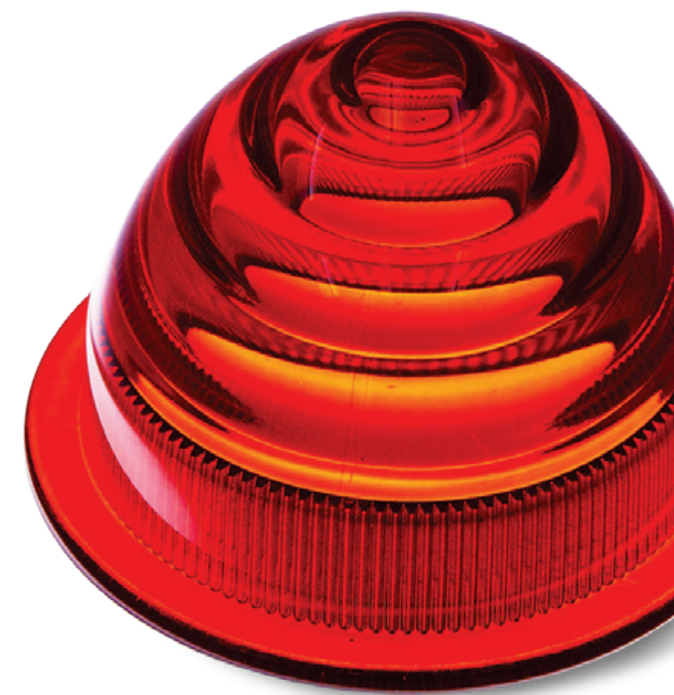
Il magnesio e l'alluminio rappresentano eccellenti alternative all'acciaio in termini di leggerezza, ma anche i materiali termoplastici e termoindurenti possiedono una ottima resistenza. Per sostituire i pezzi in metallo, è anche possibile utilizzare un'ampia scelta di polimeri rinforzati in vetro, metallo o ceramica così come la gomma siliconica liquida (LSR), riducendo in tal modo il costo e il peso del prodotto e migliorando al contempo la sua durezza.

- **Il polietilene** è disponibile nelle versioni ad alta densità (HDPE) e a bassa densità (LDPE). L'HDPE può essere utilizzato come il polipropilene e possiede proprietà meccaniche simili, ma è più rigido e offre una maggiore resistenza alla deformazione. Per il suo basso costo e la resistenza relativamente elevata, viene spesso impiegato nelle tubazioni sotterranee, serbatoi d'acqua e container di immagazzinaggio delle sostanze chimiche. Con una densità inferiore a quella dell'HDPE, l'alternativa LDPE più flessibile viene utilizzata per flaconi deformabili, pellicole in plastica e negli scivoli dei parchi gioco per bambini. Entrambi i materiali sono ideali per le applicazioni che richiedono robustezza e leggerezza, quali il vano portaoggetti di un'automobile o il collettore di aspirazione dell'aria fredda.



LSR di grado ottico impiegata al posto del vetro per applicazioni di illuminazione nei veicoli.

- **L'ABS** è un altro materiale termoplastico dotato di un'eccezionale resistenza agli urti e robustezza. Si tratta di un'alternativa leggera al metallo utilizzata nelle rifiniture del cruscotto, nelle scatole di componenti elettronici, nei coprimozzo delle ruote e in altre applicazioni automotive. L'ABS stampato a iniezione è anche disponibile nei gradi a bassa infiammabilità o antistatico in un'ampia scelta di colori, per offrire infinite possibilità di realizzazione di prodotti di consumo, medicali ed elettronici leggeri. I coprimozzo in ABS placcato cromo vengono utilizzati su un gran numero di veicoli dal peso ridotto adibiti al trasporto passeggeri, così come le griglie e parafranghi in ABS. Infine, il telaio della prima automobile al mondo stampata in 3D, la STRATI, prodotta in loco durante l'edizione 2014 dell'International Manufacturing Technology Show, era realizzato in ABS rinforzato in fibra di carbonio. Il suo peso è di appena 499 kg.
- **Il policarbonato (PC)** è altamente termoformabile ed è frequentemente sagomato in pannelli architettonici trasparenti, lenti per occhiali, schermi di computer per uso industriale e altri prodotti per i quali il vetro non è idoneo a causa del suo peso o dei timori di una possibile rottura. Offre una resistenza agli urti di 250 volte superiore a quella del vetro normale, ma ne pesa soltanto la metà, ed è per questo motivo che il "vetro antiproiettile" e i finestrini degli aerei sono realizzati in policarbonato o in materiale acrilico, il suo "cugino" leggermente più flessibile. Per quanto riguarda l'aspetto della produzione additiva, Protolabs offre la plastica Accura 60 prodotta da 3D Systems, in grado di replicare il policarbonato rinforzato al 10% con vetro per i prototipi funzionali, avente proprietà simili al PC di grado commerciale, e Accura 5530 o DSM Somos NanoTool rinforzato con ceramica per applicazioni aerospaziali e automotive che richiedono la resistenza a temperature elevate. Gradi simili di PC sono disponibili per la lavorazione a macchina o lo stampaggio a iniezione.



La lente trasparente per uso automotive realizzata mediante stereolitografia.

- **PA (nylon)** è anche frequentemente rinforzato con minerali o fibre di vetro per migliorare i rapporti rigidità-peso e le proprietà meccaniche. Queste caratteristiche la rendono una delle plastiche più resistenti disponibili in Protolabs e poiché il nylon è termicamente stabile e molto resistente all'usura, è un materiale eccellente per la produzione di ruote dentate, pale di ventilatori, ingranaggi, serrature a scatto, collettori e superfici di cuscinetti. È inoltre molto leggero, pesando il 15% in meno dell'acciaio e il 40% in meno dell'alluminio. Protolabs offre la sinterizzazione laser selettiva (SLS) di vari nylon di grado industriale, che possono essere usati per i collaudi funzionali dei prototipi prima della lavorazione a macchina o dello stampaggio a iniezione. Uno di questi è il PA 11 (nylon), un materiale adatto al design delle cerniere integrali utilizzate nelle clip di tubi flessibili e cavi in filo, nei tappi della vaschetta del liquido lavacrystalli e in altri componenti di automobili.

- **L'acetale**, più comunemente conosciuto con il suo nome commerciale di Delrin, è un materiale molto usato per i prototipi lavorati a macchina. È resistente e rigido e non richiede il rinforzo in fibra di vetro come il nylon (sebbene il vetro venga a volte usato per aumentare la rigidità e la resistenza allo scorrimento del Delrin) e viene ampiamente impiegato per sostituire pezzi di precisione in metallo in una ampia gamma di prodotti per uso industriale e di consumo: componenti di sistemi elettrici e di carburante, componenti della trasmissione di potenza quali ingranaggi, boccole e cuscinetti ed altri pezzi ad alte prestazioni possono essere fresati o stampati a iniezione dai diversi gradi di copolimero di acetale o omopolimeri in magazzino presso Protolabs.

- **La gomma siliconica liquida** o LSR, è un materiale sorprendente e versatile per molte applicazioni di stampaggio. Si tratta di un composto termoindurente bicomponente che viene miscelato a basse temperature e successivamente iniettato in uno stampo riscaldato. Dopo la polimerizzazione, la LSR diventa resistente ma al contempo flessibile, ed è idonea per realizzare guarnizioni, lenti, connettori e altri pezzi che richiedono una eccellente resistenza termica, chimica ed elettrica. Fascette per cablaggi, pulsanti di quadri elettrici, isolanti per candele non sono che alcuni dei prodotti realizzati con la LSR e presenti nei moderni veicoli. Si tratta di un grande quantitativo di plastica!

## OPZIONI DI MATERIALE LEGGERO

Magnesio



Alluminio



Gomma Siliconica  
Liquida



Polietilene

ABS

Policarbonato

Nylon

Acetale



## Soppesare le diverse opzioni di produzione

Nonostante la flessibilità in termini di opzioni di materiale, è una buona idea comprendere quale di essi si adatta meglio a un determinato processo di produzione. I prototipi lavorati a macchina un tempo venivano realizzati su frese dotate di manovella manuale e torni manuali tradizionali motorizzati. Erano principalmente composti di acciaio, ottone o alluminio e per essere ultimati richiedevano diverse settimane. Protolabs ha automatizzato lo stesso processo di base in quanto il file 3D dei pezzi può essere letteralmente caricato in un giorno e consegnato in quello successivo, utilizzando virtualmente quasi tutti i materiali descritti in precedenza. I centri di lavorazione CNC di Protolabs fresano i prototipi da solidi blocchi di metallo e plastica delle dimensioni simili a quelle di uno spesso volume enciclopedico, mentre torni dotati di utensili motorizzati tagliano i pezzi, di dimensioni simili a quelle di un vaso di fiori. Entrambi i processi operano con tolleranze di +/- 0,1 mm o migliori, a seconda della geometria del pezzo.

Un metodo di produzione rapida di pezzi in magnesio che si sta attualmente diffondendo è lo stampaggio a iniezione (conosciuto anche con il nome di thixomoulding, disponibile presso lo stabilimento statunitense di Protolabs). In questo caso, schegge di feedstock di magnesio vengono caricate nella tramoggia di una pressa di stampaggio. Vengono poi applicati calore e agitazione, che portano il carico di magnesio allo stato semi solido, al raggiungimento del quale viene "sparato" sotto pressione nella cavità dello stampo attraverso un sistema tramoggia/barilotto/vite senza fine. Ne consegue che è possibile produrre componenti in magnesio totalmente funzionali in volumi ridotti e ad una frazione del costo dei pezzi "di serie lavorati".

Molti tecnici di produzione associano il magnesio alla pressofusione, che per molto tempo ha rappresentato il metodo tradizionale di produzione ad alti volumi di questo onnipresente metallo. Lo stampaggio a iniezione del magnesio offre tuttavia numerosi e chiari vantaggi rispetto al suo equivalente ormai "datato". Il thixomoulding è essenzialmente un processo "a freddo", in quanto avviene poco al di sotto del punto di fusione del magnesio. Per questo motivo, si hanno ritiro e deformazione minori rispetto ai pezzi pressofusi, e anche le proprietà meccaniche di quelli stampati mediante thixomoulding sono generalmente migliori. Il processo più freddo richiede anche un'utensileria meno sofisticata, in quanto bassi sono i requisiti di canali di raffreddamento. E poiché la miscela di magnesio viene alimentata nello stampo a pressione molto alta, in alcuni casi il doppio di quella della pressofusione, è possibile realizzare dettagli molto fini dei pezzi. Tenendo in considerazione tutti questi aspetti, il thixomoulding si rivela come scelta vincente per molti componenti in magnesio, sia per quanto riguarda i prototipi che la produzione in volumi ridotti.

Un altro processo di prototipazione ormai consolidato è la stereolitografia (SLA), la "nonna" di tutte le tecnologie di produzione additiva. Protolabs si avvale della SLA per stampare sei gradi di polimeri suddivisi in tre gruppi primari: ABS, policarbonato e polipropilene. È importante ricordare che questi materiali replicano quelli plastici e non sono adatti alla realizzazione di prodotti funzionali. Tuttavia, la SLA consente di ottenere prototipi molto accurati e rappresenta il primo passo logico per la realizzazione iniziale di pezzi fisici concettuali leggeri. Per i test di forma e adattamento dei prodotti destinati alla pressofusione, esiste il SLArmor un materiale additivo nichelato e rinforzato con ceramica, molto leggero ma al contempo sufficientemente resistente da sostituire il metallo in alcuni casi, e una soluzione ideale per molte applicazioni che richiedono componenti leggeri.



Feedstock usato nello stampaggio a iniezione del magnesio per creare pezzi in magnesio densi al 98%.



Pezzi in magnesio stampati a iniezione prima della rimozione mediante lavorazione CNC del testimone dei punti di accesso.

Nell'elenco delle tecnologie di stampa 3D segue poi la sinterizzazione laser selettiva, limitata a quattro tipi di materiali in nylon industriale utilizzati da Protolabs, due dei quali sono rinforzati per le applicazioni che richiedono una resistenza elevata al calore e una integrità strutturale superiore. Come tutti i processi additivi eseguiti presso Protolabs, la SLS si avvale di un fascio laser per disegnare ogni strato di un pezzo. Le caratteristiche sono leggermente meno accurate rispetto a quelle ottenute con la SLA, ma assolutamente utili per i collaudi funzionali. Di tutti i materiali in plastica disponibili presso Protolabs, il nylon rinforzato con vetro è uno dei più utilizzati dai produttori automotive, principalmente per il suo basso costo e la elevata resistenza, seguito immediatamente dopo dal policarbonato rinforzato con vetro. Per questi motivi, la SLA e la SLS sono entrambe molto adatte alla prototipazione di pezzi leggeri.

Un altro processo di produzione additiva che offriamo sempre più diffusamente è la DMLS, ovvero sinterizzazione laser diretta dei metalli. In Protolabs ci avvaliamo di questa tecnologia che fonde gli strati di una polvere metallica ad uno spessore di soli 0,02 mm (20 micron) per creare forme complesse di pezzi, densi al 98%, spesso impossibili da realizzare con altri processi. È molto accurata, con tolleranze che variano da +/- 0,1 mm a +/- 0,2 mm più altri 0,005 mm, ottenute solitamente sui pezzi ben progettati.

In Protolabs, la DMLS funziona con l'alluminio e il titanio, per cui rappresenta un'ottima soluzione per la produzione di pezzi leggeri, ma viene anche usata con l'acciaio inossidabile 316L e 17-4PH, lega di cromo-cobalto e l'Inconel, metalli conosciuti per la loro estrema resistenza termica e durezza piuttosto che per la loro leggerezza. Vi potreste chiedere come mai un processo additivo che utilizza metalli come questi sia diventato argomento di discussione in un white paper sulla leggerezza dei componenti. Il motivo è semplice: la DMLS è in grado di realizzare pezzi in metallo che fino ad oggi erano soltanto nella fantasia dei progettisti. Pezzi più cavi di un uovo di Pasqua, curve e sfere simili a quelle create da Escher, pareti ultrasottili e strutture a reticolo simili a ragnatele, consolidamenti di assemblaggi multipiezo in un unico componente sinterizzato: queste non rappresentano che alcune delle molteplici possibilità di ridurre il peso dei pezzi offerte dalla DMLS (così come dalla SLA e dalla SLS).

La DMLS è più lenta di altri processi additivi e più costosa; se il design del vostro pezzo può essere lavorato a macchina o stampato in modo efficiente, questa tecnologia potrebbe non essere il metodo di produzione che più risponde alle vostre esigenze. Ma per gli assemblaggi complessi, le forme improbabili o i pezzi nei quali piccoli quantitativi di superleghe danno risultati davvero strabilianti, la DMLS potrebbe rappresentare il processo più adatto a ridurre il peso del pezzo e i costi di produzione. Infine, la DMLS non viene usata soltanto per realizzare prototipi: nel caso in cui un pezzo complesso di piccole dimensioni risulti troppo difficile o dispendioso da produrre con i metodi tradizionali, la DMLS rappresenta spesso un'alternativa fattibile per la produzione in volumi ridotti, di alcune migliaia di pezzi.



La sinterizzazione dei metalli industriali permette di ottenere pezzi in metallo pienamente funzionali stampati in 3D.

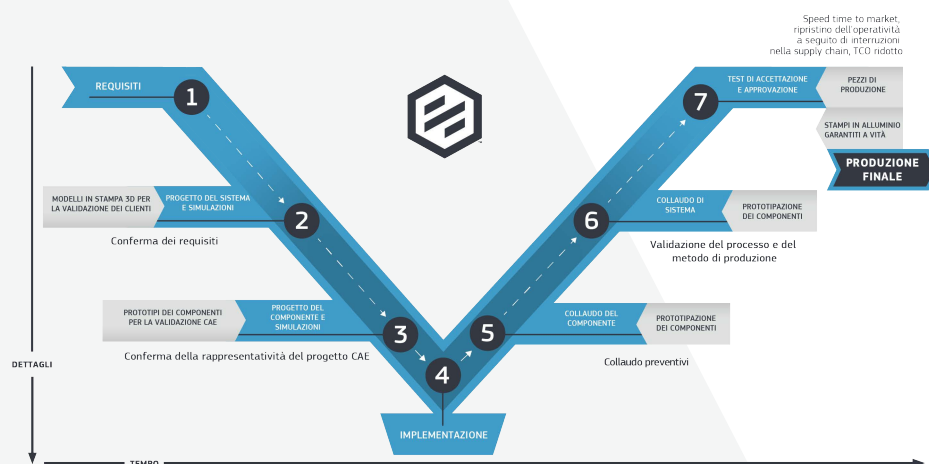


La DMLS può essere usata per creare pezzi complessi in alluminio di difficile lavorazione a macchina.

## Considerazioni finali

Immaginate di progettare una pompa d'acqua. Il policarbonato rinforzato con vetro potrebbe servire per realizzare una girante robusta e leggera, i tappi di scarico in ottone potrebbero essere facilmente sostituiti dall'ABS o dal polipropilene e il materiale NanoTool nichelato e rinforzato con ceramica potrebbe essere usato per la piastra posteriore. In ciascuno di questi casi, potreste avvalervi della SLA per stampare in 3D diverse iterazioni del design da sottoporre ai test di forma e adattamento, seguite da una dozzina di prototipi lavorati a macchina per i collaudi funzionali ed infine passare alla stampa a iniezione di diverse migliaia di pezzi. Inoltre, l'alloggiamento in ghisa della pompa potrebbe essere sostituito da uno in magnesio.

Per soddisfare i requisiti di leggerezza, una delle sfide più grandi consiste nel vagliare tutte le diverse possibilità. Questo perché migliorare il design di un prodotto automotive non comporta semplicemente la scelta di qualunque materiale risulti essere il più leggero in sostituzione dell'acciaio o del ferro utilizzati tradizionalmente. I pezzi in plastica che, alla fine, saranno prodotti in massa con lo stampaggio a iniezione devono essere progettati sin dall'inizio con i corretti angoli di spoglia e spessori di parete. Occorre tenere in considerazione gli espulsori, così come le aree con i sottosquadri, stretti raggi interni e una varietà di altri dettagli che permetteranno di realizzare oppure no il vostro pezzo leggero.



## Ulteriori fattori da valutare prima di imbarcarvi nel design di un pezzo leggero:

- nervature di supporto e sezioni a reticolo riducono il peso del pezzo conservando al contempo l'integrità strutturale in particolare per i pezzi in materiale termoplastico stampati a iniezione.
- I pezzi in magnesio sono del 33% più leggeri di quelli in alluminio e addirittura del 75% di quelli in acciaio.
- Lo stampaggio a iniezione del magnesio è una tappa rapida e semplice del percorso che porta alla realizzazione di alti volumi di prodotti in magnesio pressofusi.
- Un'analisi approfondita dei volumi di produzione ipotizzati, da condurre nelle fasi iniziali, può evitare la dispendiosa riprogettazione quando le quantità richieste aumentano.
- Sebbene l'acciaio inossidabile, il cromo-cobalto e l'Inconel pesino più dell'alluminio e del magnesio, la tecnologia DMLS può trasformare questi metalli "pesanti" in un'alternativa resistente ed efficiente in termini di peso ai materiali più leggeri.
- Non fatevi spaventare dal costo maggiore delle plastiche rinforzate in vetro, in quanto la loro resistenza superiore può portare ad una significativa riduzione del peso.
- Quando progettate pezzi da stampare, utilizzate sempre lo strumento di analisi di fattibilità online offerto da Protolabs (indipendentemente dal fatto che ordinate o meno i vostri pezzi da noi).

Molti sono i motivi validi per realizzare prodotti più leggeri. La progettazione di prodotti più leggeri, più resistenti e più efficaci dal punto di vista economico rappresenta un beneficio per tutti ed offre alle aziende che li producono un vantaggio competitivo. La ricerca di una maggiore efficienza energetica per automobili e camion continuerà ad essere una sfida impegnativa e costante di questi settori, un obiettivo che deve tenere in considerazione tre aspetti estremamente importanti: le risorse limitate in termini di combustibili fossili, i gas serra in costante aumento e la crescente regolamentazione da parte dei governi.

Ma abbiamo buone notizie per voi: tenuto conto della gamma di servizi di prototipazione e produzione in volumi ridotti offerti da Protolabs, unitamente alla nostra esperienza e competenza, avete a vostra disposizione molte risorse diverse che vi aiuteranno a ridurre il peso dei vostri pezzi.

Per qualsiasi domanda su materiali, processi di produzione o design, vi invitiamo a contattare i tecnici del servizio di assistenza ai clienti di Protolabs all'indirizzo [customerservice@protolabs.it](mailto:customerservice@protolabs.it) oppure telefonando al numero **0321 381 211** o visitando il nostro sito [www.protolabs.it](http://www.protolabs.it).