

# BMW Giornata dell'innovazione 2006

## EfficientDynamics

### Indice



<b>1. Introduzione:</b>	
<b>BMW Giornata dell'innovazione 2006</b>	
<b>EfficientDynamics .....</b>	<b>2</b>
<b>2. BMW Sviluppo cinematica: progresso coerente per una migliore efficienza e dinamica .....</b>	<b>6</b>
2.1 Efficienza ad oltranza:	
BMW presenta il futuro del turbomotore.....	9
2.2 Il diagramma di coppia e potenza del motore a benzina BMW 3,0 litri a sei cilindri in linea con twin turbo e High Precision Injection .....	13
2.3 Armonia perfetta tra dinamica ed efficienza:	
la prima iniezione diretta di benzina consuma poco .....	14
2.4 Il diagramma di coppia e potenza del motore a benzina BMW di 3,0 litri con sei cilindri in linea e iniezione diretta lean burn seconda generazione (High Precision Injection) .....	18
2.5 Dati tecnici dei motori a benzina BMW 3,0 litri a sei cilindri in linea .....	19
2.6 Reattività e precisione:	
il cambio automatico che entusiasma anche guidatori sportivi .....	20
2.7 Correnti energetiche più efficienti: gestione intelligente del generatore e recupero dell'energia frenante .....	24
<b>3. Materiali BMW:</b>	
<b>Know-how integrato dalla ricerca alla produzione .....</b>	<b>28</b>
3.1 Massima funzionalità alla leggera:	
sviluppo intelligente di materiali per carrozzerie e motori .....	28

# 1. **BMW Giornata dell'innovazione 2006. EfficientDynamics**



Chi compra una BMW deve essere sicuro di ricevere un'automobile che oltre al massimo divertimento alla guida permette anche di risparmiare. Il concetto EfficientDynamics BMW riassume tutte le iniziative di sviluppo orientate a tale obiettivo.

In occasione della Giornata dell'innovazione 2006 BMW presenta sviluppi e progetti dei comparti motore, management dell'energia e materiali. Essi contribuiscono, ognuno a modo suo, a soddisfare con soluzioni convincenti le richieste dei clienti che desiderano avere proposte globali più efficienti, in grado di cogliere anche le sfide di domani. Una sfida particolare per i progettisti è l'interesse dei clienti per veicoli con funzioni di comfort e sicurezza sempre più ricercate, che devono tuttavia consumare sempre meno.

## **L'innovazione risolve i conflitti**

L'ambizione di raggiungere una dinamica efficiente fa parte della strategia BMW non solo orientata al futuro ma anche realmente futuribile. Le automobili esprimeranno sia i valori centrali del brand BMW – il piacere di guidare – che le richieste dei suoi clienti moderni orientati al futuro. Il concetto di dinamica efficiente, infatti, crea un nesso stretto tra prestazioni, consumo e peso. Le innovazioni mirate in materia di propulsione, costruzione leggera e aerodinamica risolvono la conflittualità esistente tra questi propositi. In occasione della Giornata dell'innovazione 2006 BMW presenta esempi attualissimi sotto questo aspetto. I motori a combustione interna, ad esempio, montati negli attuali modelli BMW non sono solo particolarmente potenti, ma, attraverso il loro rendimento elevato, contribuiscono anche ad un sensibile aumento dell'efficienza. L'uso intelligente dei materiali e le moderne tecnologie produttive permettono di contenere il peso dei veicoli che tuttavia vantano livelli di allestimento sempre più prestigiosi.

## **Un percorso coerente dalla ricerca alla produzione**

Il leitmotiv della dinamica efficiente è presente in tutti i reparti della progettazione automobilistica del BMW Group. Questa coinvolge ovviamente anche lo sviluppo di soluzioni fundamentalmente innovative, per cui il settore della ricerca sui materiali porta costantemente avanti studi su tale tipo di materiali. Mentre questi da un canto contribuiscono a ottimizzare il peso dei veicoli, dall'altro aumentano il divertimento alla guida. Gli specialisti che partecipano a queste attività per il BMW Group hanno straordinarie competenze, considerate eccellenti non solo nel mondo dell'industria

automobilistica. I requisiti da loro definiti per i materiali generano impulsi qualificanti sulla ricerca nel campo dei materiali innovativi. Gli ingegneri però valorizzano anche i recentissimi ritrovati tecnologici vagliando attentamente la possibilità di applicarli in pratica. Il risultato si esprime nel fatto che il cliente ritira un'automobile che nell'insieme delle sue qualità rappresenta sempre lo stato dell'arte della tecnica. Determinati componenti del veicolo però sono realizzati con materiali che in precedenza non esistevano in questa forma, per cui fanno delle automobili BMW un oggetto veramente singolare. Esempio: un materiale sintetico innovativo sviluppato in esclusiva per BMW si trasforma in pannello laterale anteriore della nuova BMW Serie 3 Coupé. Questo elemento molto leggero ha caratteristiche tecniche finora sconosciute, anche in quanto a plasmabilità e resistenza termica. Ecco il modo in cui la leadership tecnologica della BMW diventa un benefit immediato, che solo la Casa bavarese trasmette ai propri clienti. Il pezzo è più leggero di un pannello laterale tradizionale in acciaio e, in caso di piccoli urti, riporta danni minori.

Presso il reparto motori BMW esiste pure un percorso coerente che va dall'idea teorica fino all'esperienza pratica di guida. Non deve necessariamente sempre essere il percorso più veloce, perché misurare la maturità di una soluzione tecnologica per la produzione in grande serie in base al vantaggio che essa può dare ai clienti fa parte della filosofia della marca. Infatti, su ogni nuovo modello BMW cresce la dinamica che il guidatore può saggiare in prima persona. Lo stesso deve valere per l'intenzione di ridurre i consumi. Ecco perché BMW ha volutamente rinunciato all'impiego della prima generazione di iniezione diretta della benzina, ben sapendo che i risparmi di consumo sperati potevano essere realizzati solo a un regime molto limitato del motore; questo però non rispondeva alle richieste sofisticate della marca. I progettisti dei motori BMW hanno tuttavia saputo distinguere tra il potenziale dell'iniezione diretta della benzina e la sua concretizzazione, in un primo tempo riuscita solo in parte. Per questa ragione hanno coerentemente sviluppato VALVETRONIC, una tecnologia di distribuzione variabile senza valvola a farfalla, che nella guida di tutti i giorni ha permesso di realizzare subito risparmi, senza tuttavia perdere di vista lo sviluppo di base dell'iniezione diretta della benzina. Ora è pronto il risultato: si chiama High Precision Injection, ed è la prima iniezione diretta della benzina di seconda generazione progettata da BMW, capace di realizzare risparmi significativi di consumo su una gamma molto ampia di giri e del carico, per cui il sistema è valido anche nella guida di tutti i giorni.

### **Una competenza ad ampio effetto**

I vantaggi della High Precision Injection saranno accessibili a una clientela sempre più ampia, dato che sarà applicata a un numero crescente di modelli e mercati. Questo effetto a largo raggio è uno dei criteri centrali della BMW per misurare la priorità da attribuire ad un'innovazione. La coerenza nel compiere i diversi passi progettuali è presente anche nella gestione intelligente

dell'energia. I modelli BMW oggi in commercio dimostrano molto bene la formula utile per gestire e valorizzare efficacemente l'energia elettrica. I futuri sistemi aiuteranno pure ad evitare perdite energetiche. Ove ciò non fosse possibile, le perdite saranno intelligentemente convertite in forme energetiche utili, utilizzando per esempio l'energia prodotta in fase di frenata con la Brake Energy Regeneration.

### **Concetti ibridi: passo dopo passo fino alla maturità per la serie**

Il progetto BMW della Brake Energy Regeneration con gestione intelligente dell'alternatore (IGR) riesce a spostare la generazione di energia elettrica in modo mirato nelle fasi di spinta e frenata del vicolo. In questo modo l'energia frenante, e non il carburante, si trasforma in energia elettrica. Ne risulta che nelle fasi di tiro il potenziale energetico del carburante è sfruttabile in misura maggiore per la generazione del moto cinetico, con conseguente maggiore dinamica. Si tratta di un effetto – detto boost passivo – verificabile anche nelle qualità stradali. Dato che la gestione delle correnti di energia elettrica con IGR porta solo indirettamente ad una migliore dinamica di marcia, gli ingegneri del reparto progettazione la definiscono un'ibridizzazione leggera.

L'interazione tra impiego di energia primaria ed elettrica si fa sentire in modo significativo nella prossima fase, cioè nel concetto ibrido classico. Questo prevede lo sfruttamento diretto ed integrativo di corrente elettrica ai fini della locomozione e della gestione contemporanea del motore a combustione.

L'effetto

è detto boost attivo, perché il motore elettrico assiste quello a combustione a generare la dinamica richiesta. L'ibridizzazione completa sarà raggiunta, quando in situazioni dinamiche differenti il veicolo potrà camminare non solo con il motore a combustione ma anche solo con la propulsione elettrica.

La regolazione intelligente del generatore realizzata da BMW è giunta alla vigilia della maturità per la produzione in serie. Al Salone internazionale dell'automobile (IAA) 2005 di Francoforte è stato presentato un concetto di ibridizzazione completa nella livrea BMW Concept X3 EfficientDynamics. Si tratta di una concept car equipaggiata di cambio attivo e condensatori high performance, molto diversa dai concetti ibridi finora realizzati. Infatti, il sistema di propulsione non considera soltanto l'economicità ma anche la dinamica, associando le prestazioni del motore a combustione interna a quelle del motore elettrico. Per realizzare un'accelerata particolarmente dinamica la coppia massima, generata da ambedue le fonti propulsive, pari a 600 Newtonmetri è disponibile già ad un regime inferiore ai 1.500 giri/min. In questo modo è possibile scattare in 6,7 secondi da zero a 100 e raggiungere la velocità di uscita di 235 km/h. La base della concept car è una BMW X3.

### **Motore a idrogeno: provare oggi la tecnologia di domani.**

Affermazioni analoghe valgono per l'uso dell'idrogeno per la gestione delle automobili. Il concetto BMW CleanEnergy presenta le premesse necessarie

per realizzare la strategia sostenibile della mobilità. Oltre al veicolo di ricerca BMW H<sub>2</sub>R, sulle strade circolano anche automobili BMW di dimostrazione a idrogeno. Nell'ambito di un programma di test che punta sul loro uso quotidiano, queste macchine sono usate per le prove nella guida di tutti i giorni. Nell'ambito del progetto CleanEnergy BMW si concentra sull'utilizzo di idrogeno nei motori a combustione interna. Si tratta di propulsori più leggeri, più potenti e meno costosi rispetto alle celle a combustibile. Si consideri anche che la produzione di motori a idrogeno può essere integrata nei cicli produttivi esistenti.

Le prestazioni e l'interesse per la propulsione ad idrogeno sono convincenti. Con il motore a dodici cilindri di 210 kW/285 CV il veicolo di ricerca BMW H<sub>2</sub>R ha battuto tutta una serie di primati per automobili ad idrogeno. Una BMW con motore a combustione interna a idrogeno si trova già in fase di sviluppo per la serie e sarà presentata all'opinione pubblica nel corso dei prossimi due anni.

## 2. BMW Sviluppo cinematica: progresso coerente per una migliore efficienza e dinamica



Le normative definiscono il quadro, mentre le richieste dei clienti indicano l'orientamento futuro. Malgrado questa massima, lo sviluppo dei motori BMW è influenzato solo indirettamente da fattori esterni. L'impulso principale che spinge a realizzare innovazioni continue, nasce dalla filosofia del brand, dalla competenza tecnologica dell'azienda e dai claims formulati per i suoi prodotti. Il piacere di guidare è lo slogan alla base non solo delle aspettative dei clienti ma anche delle sfide accolte dagli ingegneri. Il vero divertimento alla guida non nasce tuttavia solo dalla dinamica possibilmente elevata, ma in misura sempre crescente anche da un'efficienza sempre più ricercata. Del piacere di guidare consapevolmente vissuto fa parte integrante anche la certezza di non dover pagare un prezzo esagerato alla pompa per poter godersi la dinamica. In questa ottica BMW ha definito chiaramente l'obiettivo globale dello sviluppo di una dinamica efficiente. Ogni nuova generazione di motori ha le premesse ottimali per raggiungere rendimenti ancora migliori. Parallelamente ogni nuovo propulsore migliora anche l'economicità.

I motori a benzina e diesel oggi proposti nel programma BMW costituiscono il parametro di riferimento per la dinamica efficiente. Si tratta di propulsori che hanno realizzato coerentemente nei processi di sviluppo l'equivalenza degli obiettivi: aumentare la potenza e ottimizzare contemporaneamente i consumi. I motori sotto i cofani dei modelli attuali sono inoltre portatori di un potenziale che permetterà di realizzare progressi in ambedue i campi anche in futuro. Le innovazioni tecnologiche si condizionano ed integrano a vicenda.

### **Più potenza, comfort e sicurezza – ma consumi più contenuti**

Un confronto tra i concetti motoristici dei decenni passati e di quelli odierni mostra in maniera convincente, quali sono stati i progressi dell'attività di sviluppo svolta con il massimo rigore. Infatti, il confronto di una BMW 323i dell'anno modello 1983 con la BMW 325i attualmente in programma – ambo i modelli hanno un motore a sei cilindri in linea – mostra le differenze. La potenza del motore è salita di 57 percento, la coppia massima di 24 percento. Anche il dato di accelerazione è migliorato di 24 percento. Mentre il peso del corpo macchina è salito di 38 percento, il coefficiente aerodinamico è stato ridotto di 16 percento. Il consumo di carburante è oggi inferiore di 20 percento del consumo del 1983. Nel campo della pulizia dei gas di scarico è stato realizzato addirittura un miglioramento del

95 percento Questi pochi dati danno una convincente testimonianza dell'impatto che la dinamica efficiente ha per il progresso delle iniziative di sviluppo. Le automobili moderne sono più spaziose, confortevoli e sicure. Per questo motivo sono più grandi e pesanti dei modelli paragonabili dello stesso segmento. La superficie frontale maggiore è stata ampiamente compensata con una serie di interventi aerodinamici. L'impiego di materiali moderni ha saputo limitare l'aumento di peso, senza tuttavia compensarlo completamente. Malgrado ciò i consumi non sono saliti; anzi le riduzioni sono state veramente sensibili, grazie al massiccio miglioramento del rendimento dei motori. Questi hanno attriti minori, una carburazione ottimizzata e un pompaggio più efficace che, nell'insieme migliorano sensibilmente la dinamica e riducono i consumi in maniera vistosa. L'effetto è accresciuto ovviamente anche grazie agli innovativi che hanno un maggior numero di rapporti e, di conseguenza, una scalarità migliorata. La riduzione dei consumi è, inoltre, accompagnata da una sostanziale riduzione delle emissioni. L'impegnativo sistema di post-trattamento dei gas di scarico fa sì che i gruppi rispettano senza alcun problema anche quelle normative che ammettono soltanto una frazione minima delle emissioni all'epoca consentite.

### **Innovazioni a effetto durevole**

La dinamica dello sviluppo BMW qui riassunta con un semplice confronto è caratterizzata da tutta una serie di pietre miliari. A partire dalla tecnica a quattro valvole, alla distribuzione a fasatura variabile VANOS e doppio VANOS fino alla distribuzione completamente variabile VALVETRONIC le innovazioni sono sempre accompagnate da un aumento di potenza e una riduzione dei consumi e delle emissioni. I sistemi hanno in comune molti particolari: sono impiegati in motori di differenti dimensioni e tipologie, si integrano tra di loro e realizzano gli effetti desiderati anche nella guida di tutti i giorni per cui non costituiscono mai soluzioni effimere. La tecnica a quattro valvole è considerata oggi lo standard tout court per un gran numero di motori, VANOS e VALVETRONIC sono saldamente presenti in motori con differenti numeri di cilindri e continueranno a giocare un ruolo importante anche nei motori futuri.

Tutti i nuovi sviluppi progettati da BMW devono soddisfare le funzioni loro assegnate in modo globale e sostenibile. L'iniezione diretta dei motori diesel soddisfa questa richiesta già nella terza generazione di motori. D'ora in poi BMW propone una tecnologia che comporta netti risparmi dei consumi anche per motori a benzina. Infatti, la High Precision Injection presentata da BMW come seconda generazione dell'iniezione diretta della benzina, vanta un'impressionante flessibilità. Sarà impiegata nel nuovo potentissimo motore sei cilindri in linea twin turbo. Può tuttavia essere gestito anche in regime magro ad iniezione diretta. Contrariamente alla prima generazione

dell'iniezione diretta a benzina, che nell'uso quotidiano non ha portato i risparmi di carburante ipotizzati e sperati, per cui BMW non la aveva mai

impiegata, la High Precision Injection contribuisce notevolmente a migliorare vistosamente l'efficienza della dinamica.

### **Management del flusso energetico a due livelli**

Per il suo intero portafoglio motori BMW persegue la strategia della gestione intelligente del flusso energetico, che spiegherà i suoi effetti indipendentemente dalla taglia, dal tipo e dalle caratteristiche tecniche del motore. Saranno due i livelli di intervento destinati ad evitare perdite energetiche.

Un sistema automatico Start-Stop del motore dovrà escludere le perdite d'energia primaria. Sarà attivato nei momenti, quando il motore è al regime minimo. Questa tecnica, che BMW ha battezzato Auto-Start-Stop, spegne il propulsore, quando la macchina ad esempio è ferma al semaforo. Per riaccendere il motore sarà sufficiente premere il pedale della frizione.

I test provvisori fatti in base al ciclo Ece indicano che questa funzione riuscirebbe a ridurre in media di circa 0,5 litri su 100 chilometri il consumo di una BMW Serie 3.

Il secondo livello della gestione del flusso d'energia interessa la produzione, l'accumulo e l'utilizzo dell'energia elettrica a bordo della macchina.

L'energia elettrica è indispensabile per numerose funzioni di comfort, sicurezza e dinamica del veicolo. Grazie alla gestione intelligente dell'alternatore,

uno studio realizzato in collaborazione con BMW, la trasformazione dell'energia primaria in energia elettrica può essere concentrata interamente alle fasi di rilascio e frenata. Durante le fasi di tiro si dispone invece di una potenza superiore utile per generare l'energia della frenata. Inoltre, il recupero dell'energia frenante permette di valorizzare riserve finora rimaste inutilizzate. Il sistema Brake Energy Regeneration trasforma l'energia termica in passato dispersa ai dischi in corrente elettrica. Ciò permette di immettere l'energia ricavata dalla frenata nella rete di bordo.

Secondo la situazione di marcia e le condizioni operative del motore, la gestione mirata dei flussi energetici aumenta la dinamica e l'efficienza al momento della trasformazione di carburante in energia cinetica, termica ed elettrica. La tecnologia necessaria è pronta per essere realizzata in serie da BMW. Dato che, come si è detto, questi sistemi sono applicabili a motori di differenti tipi e dimensioni, il loro vantaggio si esprimerà per un gran numero di clienti. Potranno, infatti, avere maggiore dinamica accompagnata da una reale riduzione dei consumi. Le molteplici ipotesi applicative sono importanti per BMW anche sotto un altro profilo. Tutte queste tecnologie potranno essere adottate per ridurre i consumi di flotte e le emissioni anche alla luce delle normative più severe, senza tuttavia penalizzare il piacere di guidare.



## 2.1 Efficienza ad oltranza: BMW presenta il futuro del turbomotore

Un innovativo propulsore con tecnica twin turbo e iniezione diretta della benzina si collocherà in futuro ai vertici della gamma dei motori BMW a sei cilindri in linea. La potenza erogata di 225 kW/306 CV e la coppia massima di 400 Newtonmetri della nuova variante propulsiva potranno senza problemi soddisfare anche i più esigenti in quanto a spiegamento spontaneo della potenza. Questo primo motore a sei cilindri in linea con twin turbocharger, High Precision Injection e basamento interamente in alluminio vanta una progressività entusiasmante, finora sconosciuta tra i motori sovralimentati, e una ripresa senza soluzione di continuità fino a regimi elevatissimi. Non manca, nemmeno su questo innovativo turbomotore, la tipica silenziosità di tutti i motori BMW a sei cilindri. La maggiore potenza è realizzata in maniera particolarmente efficiente e ciò è dovuto alla High Precision Injection studiata da BMW. La seconda generazione dell'iniezione diretta della benzina contribuisce concretamente all'efficienza del propulsore twin turbo. A 100 anni dall'invenzione del motore turbo, la combinazione realizzata ora dagli ingegneri BMW apre un nuovo capitolo particolarmente affascinante nella storia dei propulsori sovralimentati.

### **La base di provata qualità: il motore a sei cilindri in linea**

L'impiego della tecnologia con turbocharger consente a BMW di dare una risposta tanto affascinante quanto efficace alla richiesta di una potenza maggiore. Proprio nella configurazione scelta da BMW, la sovralimentazione risulta essere il mezzo ideale per conservare le qualità propulsive collaudate e generare nuovi stimoli. La base è costituita dall'attuale generazione dei motori BMW a sei cilindri in linea che, per essere motori aspirati, ricavano un potenziale eccellente di prestazioni pari a 195 kW/265 CV da 3,0 litri di cilindrata. Per generare un volume di potenza e soprattutto di coppia sensibilmente superiore viene ora usata la tecnologia twin turbo. Rispetto al motore aspirato di 3,0 litri, di qualità provata, la potenza è stata aumentata di circa 15 per cento, mentre la coppia massima è salita addirittura di circa 30 per cento.

Il risultato del progetto si esprime nei suoi dati: potenza di 225 kW/306 CV e coppia massima di 400 Newtonmetri, dati che in pratica danno una spinta convincente già ai regimi inferiori. Gli ingegneri hanno calcolato i dati tecnici per una berlina della BMW Serie 3: l'accelerazione da 0 a 100 km/h con la versione twin turbo impiega mezzo secondo in meno, mentre la ripresa

(80 a 120 km/h nella penultima marcia) passa da 8,2 secondi della variante aspirata più potente della BMW 330i a 6,3 secondi.

Conservando il concetto del motore aspirato sarebbe stato possibile realizzare un tale incremento della dinamica soltanto attraverso un aumento notevole della cilindrata. Ciò avrebbe però comportato un aumento proporzionale del peso con conseguenze per l'equilibrio della macchina. L'impiego della tecnica con turbocharger e della High Precision Injection invece ha dimostrato di essere particolarmente efficace per soddisfare le richieste di maggiore potenza e coppia del motore. A titolo di confronto si precisa che il nuovo motore a sei cilindri in linea twin turbo pesa 70 chilogrammi in meno di un otto cilindri aspirato di pari potenza con 4,0 litri di cubatura. E ancora: rispetto ad un turbomotore di pari potenza con iniezione nel collettore di aspirazione, il propulsore con High Precision Injection consuma circa dieci per cento in meno.

Oltre al basso peso e ai consumi molto vantaggiosi per il segmento di appartenenza, il nuovo motore twin turbo ha ancora un'altra qualità che è tipica dei motori BMW a sei cilindri in linea. Si fa notare per l'eccellente silenziosità, una virtù che ha fatto dei motori BMW a sei cilindri in linea il parametro di riferimento nel settore della tecnologia propulsiva moderna. La stessa disposizione dei cilindri assicura al motore un carattere equilibrato in quanto a equilibrio delle forze di massa; infatti, anche ai regimi elevati il propulsore lavora senza vibrazioni. Anche la variante turbo del sei cilindri, inoltre, è equipaggiata di alberi di distribuzione leggeri, variatore di fase doppio VANOS e pompa acqua elettrica attiva soltanto quando serve. Tutti questi elementi sono conosciuti dalla versione aspirata.

### **Il turbo lag appartiene al passato**

Sulla nuova variante del motore gli ingegneri BMW sono riusciti ad eliminare gli svantaggi costruttivi che in passato presentavano i propulsori con turbo. Ecco perché il sei cilindri sovralimentato della BMW non ha le caratteristiche degli attuali motori turbo. Il nuovo motore non soffre di una spinta generata solo con un certo ritardo e dei consumi elevati dei motori turbo tradizionali. L'erogazione più diretta della potenza è dovuta al concetto twin turbo. L'usuale turbocompressore grande è sostituito da due di dimensioni minori, di cui ciascuno alimenta aria compressa a tre cilindri. Il vantaggio decisivo dei piccoli turbocharger è il loro basso momento d'inerzia. Già il minimo impulso generato dal guidatore con l'acceleratore provoca l'immediato aumento della pressione. Non esiste più il tipico vuoto di potenza dei motori sovralimentati – l'intervallo insomma che trascorre finché il charger diventa operativo. L'innovativo propulsore twin turbo ha una performance che assomiglia all'erogazione di potenza di un motore aspirato di cilindrata decisamente superiore. Il motore di 3,0 litri, infatti, eroga l'impressionante coppia di 400 Newtonmetri senza esitare e questo su un arco di giri da 1.300 a 5.000 giri/min. Ma non è tutto: il motore gira vigorosamente fino a quota

7.000 giri/min. Il pilota ha una forma particolarmente superiore di dinamica che gli permette di fare accelerazioni spedite in un'atmosfera di massimo relax.

### **Progresso doppio: potenza alta, efficienza elevata**

Per trovare un'armonia tra l'affascinante esperienza di guida e i consumi contenuti, BMW ha sviluppato, come prima casa automobilistica del mondo, un motore a benzina con sei cilindri in linea e twin turbocharger, iniezione diretta e basamento interamente in alluminio. La configurazione stessa del turbocompressore contribuisce a ridurre i consumi. La costruzione delle turbine in acciaio refrattario, capace di resistere a temperature fino a 1.050 gradi, può fare a meno di un maggiore afflusso di carburante altrimenti necessario per il raffreddamento. Il contenimento dei consumi si fa sentire in particolare nelle fasi di carico totale.

La funzione chiave del concetto orientato all'uso economico del carburante riguarda tuttavia la High Precision Injection. Nella guida pratica di tutti i giorni la nuova generazione del sistema d'iniezione diretta raggiunge le economie previste senza penalizzare le qualità dinamiche del motore. La High Precision Injection consente di dosare la miscela con maggiore precisione e di aumentare la compressione, che sono le due premesse ideali per aumentare il rendimento e ridurre i consumi. Tutto ciò è possibile collocando l'iniettore piezo in centro tra le valvole. In questa posizione l'innovativo iniettore ad apertura perimetrale distribuisce uniformemente il carburante nella camera di combustione.

Lo sviluppo BMW dell'innovativo motore a sei cilindri in linea con twin turbocharger ed iniezione diretta è tutto sommato un nuovo capitolo su un principio già abbastanza vecchio della tecnica dei motori. Infatti, poco tempo fa il motore turbo ha compiuto 100 anni. Per molti decenni la tecnica di compressione, brevettata nel novembre 1905 dall'ingegnere svizzero Alfred Büchi, serviva soprattutto per incrementare la potenza di motori navali e aerei. Solo molto più tardi sono state costruite anche automobili con motori sovralimentati. In Europa questa tecnica esordiva nella produzione di serie nel 1973 sotto il cofano della BMW 2002 Turbo.

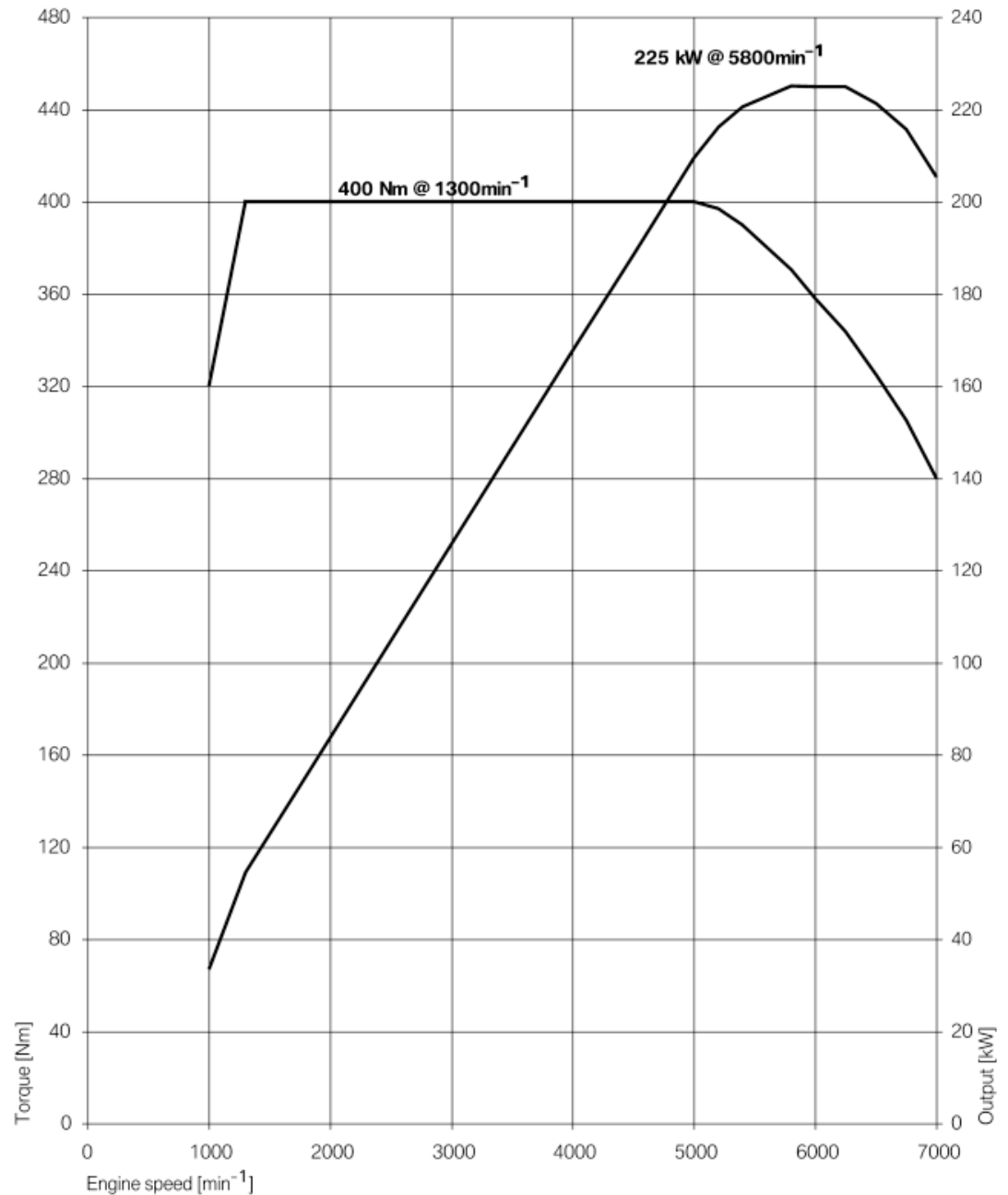
### **BMW – primo campione mondiale turbo di formula 1**

Nel corso dei cento anni di storia turbo BMW ha ripetutamente fissato pietre miliari significative. Alla fine degli anni Sessanta BMW è stato il primo produttore a far correre nelle gare Turismo macchine con motore turbo. Poi, nel 1983, la BMW Brabham, pilotata dal brasiliano Nelson Piquet, è stata la prima macchina turbo a vincere il campionato mondiale di formula 1. Già all'epoca i progettisti di motori della BMW sono riusciti a cavare ben oltre 1.000 CV da una cilindrata di soli 1,5 litri. Questa possibilità di aumentare, in misura apparentemente illimitata, la potenza con la tecnologia turbo ha tuttavia fatto sì che nella categoria regina dell'agonismo si decidesse di rinunciare, per ragioni di sicurezza, all'uso di potenze ancora superiori.

Nella produzione in serie invece tutti i concetti di sovralimentazione erano sempre accompagnati dalla consapevolezza che avrebbero comunque aumentato i consumi. Si tratta di una conflittualità che per molti anni sembrava irrisolvibile. Soltanto i recentissimi sviluppi nel campo della costruzione di motori hanno aperto una strada che BMW ha coerentemente seguito: tecnologia twin turbo abbinata a High Precision Injection come formula per una dinamica efficiente in una forma particolarmente affascinante.

Il nuovo propulsore high performance ai vertici della gamma dei motori a sei cilindri in linea della BMW è una dimostrazione impressionante del potenziale contenuto in questo concetto e della validità dei suoi componenti principali. La sua prontezza di risposta e la vigorosa ripresa schiudono a questo motore, che si trova alla vigilia della produzione in serie, dimensioni completamente sconosciute di dinamica. I progettisti di motori della BMW hanno inoltre preparato ancora altre opzioni applicative per la High Precision Injection. Oltre all'impiego in un propulsore progettato per rendere la massima dinamicità, la sua tecnologia costituisce anche la base per un concetto di iniezione diretta di una miscela magra e, di conseguenza, per una sensibile riduzione dei consumi anche in altre categorie di potenza. Ecco come BMW valorizza anche in questo caso la leadership tecnologica in campo motori: lo sviluppo di forme moderne di propulsione aumenta al tempo stesso anche il piacere di guidare.

## 2.2 Il diagramma di coppia e potenza del motore a benzina BMW 3,0 litri a sei cilindri in linea con twin turbo e High Precision Injection



## 2.3 Armonia perfetta tra dinamica ed efficienza: la prima iniezione diretta di benzina consuma poco

Aumento delle qualità stradali, riduzione del peso e contenimento dei consumi: questi sono gli obiettivi dei progettisti di motori BMW all'insegna del leitmotiv della dinamica efficiente. Ogni nuova generazione di motori è portatrice di tecnologie avanzate verificabili direttamente nella guida di tutti i giorni. Ora l'iniezione diretta della benzina è matura per essere applicata al motore BMW con sei cilindri in linea. La High Precision Injection della BMW è il primo sistema di iniezione diretta della seconda generazione che permette di ridurre sensibilmente i consumi nella gestione quotidiana senza penalizzare i rendimenti. Il sistema è applicato al motore aspirato con sei cilindri in linea sotto forma di iniezione diretta della miscela magra, con la conseguenza di una riduzione dei consumi pari all'8 per cento nel ciclo Ece rispetto all'efficientissimo motore base con distribuzione variabile. Questa è la caratteristica più vistosa che distingue la High Precision Injection dal sistema di iniezione diretta della prima generazione che BMW, per ragion veduta, non ha mai impiegato per ridurre i consumi. Restano inoltre pienamente garantite le qualità tipiche del motore a sei cilindri in linea, il più innovativo e tecnicamente più progredito: erogazione dinamica della potenza, brillantezza ed esemplare silenziosità. La potenza di 200 kW/272 CV e la coppia massima di 315 Newtonmetri del nuovo motore 3,0 litri con High Precision Injection superano perfino il più potente tra i sei cilindri in linea di pari cubatura finora montati su un veicolo BMW di serie.

### **Dinamica affascinante, risparmi convincenti**

L'innovativa unità di propulsione è un motore aspirato configurato per la gestione cosiddetta lean-burn. Ciò significa che la percentuale di benzina presente nella miscela aria-benzina è particolarmente contenuta, perché gli iniettori piezo posizionati direttamente vicino alle candele assicurano un'iniezione precisa e senza perdite. I progettisti di motori BMW sono però anche riusciti ad affiancare all'efficienza convincente una performance affascinante. Il motore, che è pronto per l'applicazione in serie, entusiasma nella gestione quotidiana per le sue capacità dinamiche, peraltro tipiche di tutte le BMW, mentre più avanti se ne apprezzeranno anche i consumi molto contenuti. Ecco come il primo motore aspirato a sei cilindri con iniezione diretta soddisfa le attese definite nel leitmotiv della dinamica efficiente.

La superiorità dell'innovativo propulsore rispetto alla prima generazione dell'iniezione diretta della benzina si esprime nei vantaggi durante la guida e

quando bisogna fare il pieno. Finora le speranze legate a questa tecnologia non erano onorate da consumi sensibilmente minori nell'uso quotidiano della macchina. Per questo motivo BMW aveva rinunciato ad impiegare la prima generazione dell'iniezione diretta di benzina. I deficit intrinseci al sistema, infatti, erano dovuti al fatto che i minori consumi erano realizzabili solo in una fase molto limitata di carico ai bassi regimi. Questo era stato visto molto presto dai motoristi di casa BMW. Questo li ha spinti a cogliere la sfida che consisteva nel studiare una soluzione alternativa che garantisse consumi molto contenuti. Nel 2001, BMW presentava la gestione del carico senza farfalla VALVETRONIC. Il sistema ha portato di primo acchito – in modo affidabile e verificabile nell'uso pratico – a riduzioni sostanziose dei consumi; oggi la tecnologia è presente su tutti i modelli BMW ed ha dato prova di efficienza in diversi milioni di automobili.

### **Innovativi iniettori piezo in posizione ottimale**

La tecnologia VALVETRONIC continuerà a giocare un ruolo importante nei motori a sei cilindri di tutto il mondo. Parallelamente alla commercializzazione del sistema VALVETRONIC BMW continua in modo approfondito ad occuparsi del principio dell'iniezione diretta della benzina per renderla disponibile e rispondente alle sofisticate aspettative del mercato. Il potenziale indubbiamente molto grande di questa tecnologia è stato valorizzato solo ora dopo lo sviluppo della High Precision Injection. Gli innovativi iniettori piezo che mandano il carburante nei cilindri con una pressione di 200 bar, facilitano l'alimentazione particolarmente accurata. Gli innovativi iniettori disposti nella testata al centro delle valvole resistono alle elevate sollecitazioni termiche e di pressione regnanti in quella zona. Gli aghi del pulverizzatore reagiscono con estrema velocità e con elevata costanza agli impulsi elettronici di iniezione della centralina del motore. In questo modo i nuovi iniettori piezo hanno tutte le premesse per definire con precisione il volume di carburante e, di riflesso, la carburazione controllata, pulita ed efficiente.

Gli ingegneri BMW sono inoltre riusciti a piazzare gli iniettori a ridosso della candela, pur essendo lo spazio disponibile molto ridotto. Gli iniettori piezo lanciano un getto stabile a forma conica. Contrariamente alla wall guided injection, il sistema spray guided velocizza l'alimentazione e la rende molto più efficace. Questa, infatti, avviene nelle immediate vicinanze della candela; quindi non esistono più le perdite di carburante direttamente legate all'umidificazione delle pareti.

A questo modo è possibile realizzare la carica stratificata tipica della miscela a titolo molto magro. In questo caso, all'interno della camera di scoppio, si formano differenti strati integrativi di miscela benzina-aria. Con l'aumentare della distanza dalla candela si riduce progressivamente la percentuale della benzina contenuta nella miscela; nelle immediate vicinanze della candela invece lo strato è particolarmente grasso, e di conseguenza molto accendibile.

Non appena questo esplode, bruciano in maniera uniforme anche gli strati magri che sono più distanti dalla candela.

### **Economico e potente fino ai regimi elevati**

La forma degli iniettori e la loro posizione assicurano l'elevata precisione di alimentazione su una gamma operativa molto ampia. Per questa ragione è possibile assicurare la gestione lean-burn anche ai regimi e carichi elevati. Questo spiega i vantaggi essenziali della High Precision Injection rispetto all'iniezione diretta di benzina della prima generazione. Infatti, l'impiego dell'iniezione diretta della prima generazione nei motori BMW veniva anche contrastata dal loro stesso carattere penalizzante. Polverizzare la benzina e l'aria con l'aiuto delle farfalle nel collettore di aspirazione consumava una parte della potenza, a scapito dell'efficienza e della potenza massima. Ora questo problema è risolto. Rispetto ai sistemi d'iniezione diretta del passato, il nuovo sei cilindri in linea con High Precision Injection di BMW ha un respiro decisamente meno «stenotizzato».

### **High Precision Injection: un nuovo capitolo nella success story**

Il lancio dell'iniezione diretta di benzina per i motori a sei cilindri in linea è il risultato di una strategia integrativa applicata da BMW. L'obiettivo è di salvaguardare le qualità esistenti di una concezione motore e di potenziarle attraverso innovazioni tecnologiche. Il motore equipaggiato di High Precision Injection apre un capitolo nuovo nella storia dei successi coerentemente realizzati dai motori BMW a sei cilindri in linea. La base di questa nuova variante è formata dal motore a sei cilindri con basamento in magnesio e alluminio; è il propulsore più sofisticato del mondo in quanto a erogazione di potenza, rapporto peso-potenza e regolarità di funzionamento. La riduzione di peso realizzata con un materiale particolarmente leggero che è il magnesio migliora l'effetto risparmio, ma anche l'agilità di tutte le automobili dotate di questo motore. Un contributo alla riduzione del peso deriva anche dagli alberi della distribuzione leggeri prodotti con l'idroformatura. La pompa elettrica del mezzo refrigerante è controllata dalla temperatura ed è attiva solo quando serve, contribuendo a questo modo ad aumentare il rendimento del motore. La sua potenza assorbita di soli 200 Watt si limita ad assorbire un decimo dell'energia richiesta per una pompa tradizionale.

L'impiego dell'iniezione diretta della benzina costituisce nuovamente un grande passo in avanti per migliorare l'efficienza del motore BMW con sei cilindri in linea. A parità di tutte le altre qualità tipiche del motore, la High Precision Injection diventerà un nuovo elemento costitutivo del sei cilindri. Tra i risultati particolarmente buoni del lavoro degli ingegneri ricordiamo che gli iniettori piezoelettrici sono integrati senza dover scendere a compromessi nella configurazione della testata e dei pistoni. Il motore conserva così il suo originario carattere, improntato alla brillantezza e la silenziosità esemplare, aumentando allo stesso tempo la propria efficienza. I 200 kW/272 CV e la

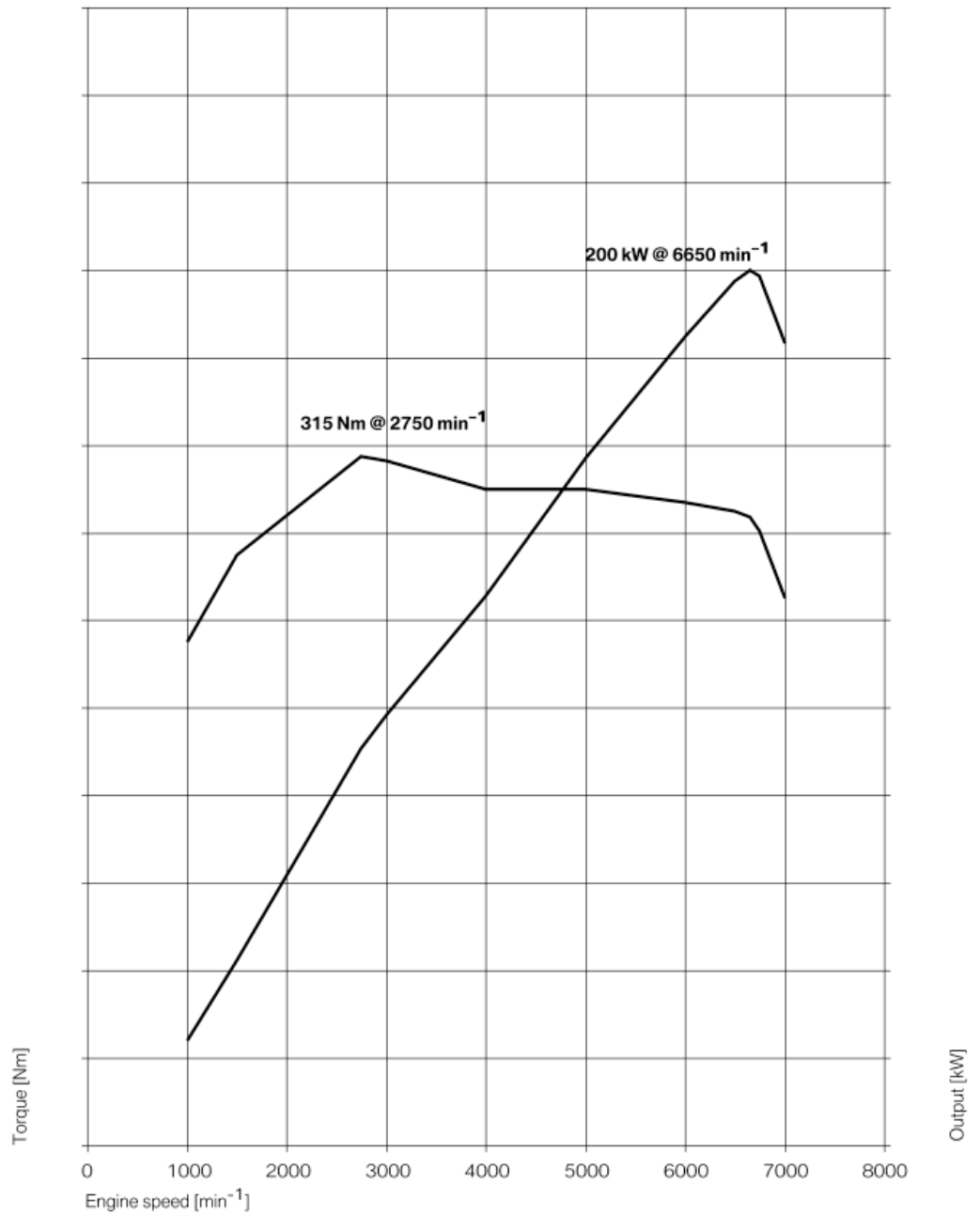


coppia massima di 315 Newtonmetri sono riservati alla versione più potente tra i motori BMW aspirati di 3,0 litri a sei cilindri. Nell'uso pratico ciò si esprime in una doppia miglioria: aumenta la dinamica e le economie si spingono in nuove dimensioni.

### **Pulito a gestione intelligente: catalizzatori riducenti NOx**

La commercializzazione dell'innovativo motore a sei cilindri in linea con High Precision Injection inizierà sui mercati europei. Le consegne seguiranno progressivamente la disponibilità crescente di carburante senza zolfo che è indispensabile per il funzionamento dei catalizzatori riducenti per i NOx. I clienti europei potranno in ogni caso usare le loro automobili anche in paesi che non dispongono ancora su scala nazionale del carburante senza zolfo. In questo caso il motore non potrà valorizzare il suo intero potenziale di risparmio, perché il ciclo di rigenerazione del catalizzatore riducente deve essere fatto con maggiore frequenza.

## 2.4 Il diagramma di coppia e potenza del motore a benzina BMW di 3,0 litri con sei cilindri in linea e iniezione diretta lean-burn seconda generazione (High Precision Injection)



## 2.5 Dati tecnici dei motori a benzina

### BMW 3,0 litri a sei cilindri in linea

Caratteristica/Unità	Unità	Motore aspirato con VALVETRONIC	Motore aspirato con iniezione diretta magra seconda generazione (High Precision Injection)	Motore con alimentazione twin turbo e iniezione diretta seconda generazione (High Precision Injection)
Carburante		benzina (91–100 Norm)	benzina (91–100 Norm)	benzina (95–100 Norm)
Potenza nominale	kW	195	200	225
a	giri/min	6.600	6.750	5.800
Coppia nominale	Nm	315	315	400
a	giri/min	2.750	2.750	1.300–5.000
Regime massimo	giri/min	7.000	7.000	7.000
Corsa	mm	88,0	88,0	89,6
Alésaggio	mm	85,0	85,0	84,0
Cilindrata	cm <sup>3</sup>	2.996	2.996	2.979
Distanza tra cilindri	mm	91	91	91
Disposizione cilindri		6 cilindri in linea	6 cilindri in linea	6 cilindri in linea
Piattello valvola aspirazione	mm	34,2	32,4	31,4
Piattello valvola scarico	mm	29,0	29,0	28,0
Compressione		10,7	12,0	10,2
Iniezione carburante		nel collettore di aspirazione	diretta seconda generazione (High Precision Injection); iniettori piezo; $\lambda >> 1$ ; fino a 3 iniezioni separate nella fase di espansione	iniezione diretta seconda generazione (High Precision Injection), iniettori piezo; $\lambda = 1$ ; fino a 3 iniezioni separate per la fase di espansione
Pressione di iniezione	bar	5	200	200
Pressione di carico massima assoluta	bar	nessuna sovralimentazione	nessuna sovralimentazione	1,6
Sovralimentazione tipo		nessuna sovralimentazione	nessuna sovralimentazione	2 charger MHI paralleli (twin turbo)
Pressione media in camera di scoppio	bar	13,22	13,43	16,9
Pressione massima in camera di scoppio	bar	77	80	130
Peso a norma BMW	kg	161	168	187
Rapporto potenza-litro	kW/L	65,1	66,8	75,5
Rapporto peso-potenza del motore	kg/kW	0,82	0,84	0,83
Basamento in		magnesio e alluminio	magnesio e alluminio	alluminio
Pompa acqua		elettrica	elettrica	elettrica
Albero a camme		composto; idroformato	composto; idroformato	composto; idroformato
Distribuzione		meccanica variabile, sistema VALVETRONIC a variazione continua dell'albero a camme sul lato aspirazione e scarico (doppio VANOS)	variazione continua dell'albero a camme sul lato aspirazione e scarico (doppio VANOS)	variazione continua dell'albero a camme sul lato aspirazione e scarico (doppio VANOS)

## 2.6 Reattività e precisione: il cambio automatico che entusiasma anche guidatori sportivi

E' sufficiente premere l'acceleratore e le qualità stradali della BMW sono subito disponibili automaticamente. Le reazioni velocissime e i tempi ridotti di cambiata del nuovo cambio automatico a sei rapporti, completamente rivisitato, convincono in futuro anche quella fascia di guidatori che privilegiano gli spostamenti fatti con uno stile di guida sportiva. Un'innovativa tecnica del convertitore di coppia crea un collegamento più diretto tra cambio e motore; al desiderio di una potente accelerazione il cambio reagisce immediatamente scalando di una, due, tre o addirittura quattro rapporti. La selezione precisa del rapporto di cambio ottimale per la situazione dinamica della macchina non aumenta soltanto le qualità stradali, ma migliora anche le economie rispetto ai cambi automatici tradizionali. A seconda del modello interessato, il cambio automatico a sei velocità riduce, nel ciclo Ece, i consumi di benzina del 3 per cento e dei modelli diesel del 6 per cento. Il gruppo cambio, inoltre, è più compatto e leggero di quello automatico a cinque rapporti. In altre parole, il cambio soddisfa pienamente e sotto ogni punto di vista l'obiettivo della progettazione orientata alla dinamica efficiente. Per aumentare ancora l'esperienza positiva alla guida serve una funzionalità operativa, precedentemente disponibile solo per il cambio meccanico automatizzato (SMG), e precisamente i comandi al volante che in ogni momento facilitano l'uso del cambio automatico a sei rapporti.

Cinque anni dopo l'esordio mondiale del primo cambio automatico a sei velocità per la BMW Serie 7, la Casa premium tedesca definisce nuovamente la direzione degli sviluppi. In alternativa al cambio manuale, saranno presto disponibili per molte Serie cambi automatici a sei rapporti. Non si tratterà soltanto di componenti capaci di aumentare il comfort, bensì daranno anche un contributo all'incremento delle qualità stradali. La singolare dinamica di cambiata del cambio automatico a sei rapporti aumenta ulteriormente il piacere di guidare.

### **Elettronica potente garantisce reazioni velocissime**

La nuova versione del cambio automatico a sei rapporti favorisce in modo particolare uno stile di guida impegnato. La complessa elettronica di gestione esegue il monitoraggio permanente della posizione del pedale dell'acceleratore. Oltre alla posizione del pedale, registra anche l'intensità della pressione esercitata per calcolare l'entità dell'accelerazione desiderata. Richiamando la velocità, il numero di giri del motore e l'angolo di sterzata,

l'elettronica rileva anche lo stato dinamico istantaneo della macchina. Il sistema considera, inoltre, anche se la macchina, in un dato momento,

si trova su un percorso in salita o discesa. Da tutti questi dati l'elettronica gestionale, dotata ovviamente di un software particolarmente potente, calcola la marcia da inserire in una determinata situazione per soddisfare al meglio le richieste del guidatore.

Il guidatore, dal canto suo, comunica le sue richieste esclusivamente attraverso il pedale dell'acceleratore. In una fase di viaggio rilassato con pressione costante sull'acceleratore, il cambio sceglie sempre il rapporto più alto possibile. Il cambio automatico non si dimentica mai di salire con le marce, per cui la BMW cammina sempre in un rapporto possibilmente economico sotto l'aspetto dei consumi. Il cambio automatico è naturalmente preparato in qualsiasi momento a cambiare la situazione dinamica. Reagisce con la dovuta rapidità e precisione alle nuove richieste, siano esse quella di un lieve aumento della velocità che quella di una sportiva accelerata scattante.

### **Selezione diretta del rapporto ottimale**

La necessità di scalare di una o più marce è captata dall'elettronica in base ai dati riguardanti il carico, la dinamica e la velocità con cui viene premuto l'acceleratore. Secondo la situazione globale è così possibile scalare di uno o più rapporti. E' sempre fondamentale l'intensità di pressione sull'acceleratore: più forte è la pressione sul pedale, maggiore è l'accelerazione della macchina. Il rapporto richiesto è sempre scelto in modo diretto. Questa selezione diretta della marcia è un elemento qualificante della precisione del cambio automatico. Non esiste, insomma, la ricerca, peraltro avvertibile per il guidatore, della marcia giusta. Anzi, mentre il piede continua a premere l'acceleratore il cambio ha già trovato il rapporto giusto.

### **Reagisce in solo 100 millisecondi**

La velocità di reazione del nuovo cambio automatico a sei rapporti di BMW è il nuovo parametro di riferimento. La sua dinamica di innesto eclissa non solo i cambi automatici tradizionali ma anche quelli meccanici manuali. Il nuovo cambio automatico a sei velocità inserisce tutte le marce ad una velocità superiore a quella, di cui sono capaci perfino guidatori abituati alle cambiate manuali sportive. Il fenomeno si esprime in maniera particolarmente vistosa nella caratteristica estrema definita dagli ingegneri della progettazione, cioè il segnale di kick down a 70 km orari in sesta. In una tale situazione è richiesta l'accelerazione massima, che il nuovo cambio automatico fornisce immediatamente. La reazione avviene in solo 100 millisecondi.

Contemporaneamente il cambio automatico trasmette un impulso di coppia al motore che alza senza alcun ritardo il numero di giri da circa 1.400 a oltre 5.000 giri/min, mentre il cambio automatico scala dalla sesta in seconda. Anche i tempi di cambiata sono stati dimezzati rispetto ai precedenti cambi.

Insomma, in meno di un secondo il carattere della macchina si trasforma da confortevole in grintoso e scattante. Una performance di scalata talmente impressionante non è mai stata realizzata dai cambi automatici commerciali. I tempi di reazione del nuovo cambio automatico a sei rapporti raggiungono dimensioni che il guidatore normale difficilmente riesce ad avvertire. Ciò che naturalmente si avverte è la reazione spontanea alle richieste di accelerata. Resta l'impressione di una reazione intuitiva alla richiesta di dinamismo da parte del nuovo cambio automatico a sei velocità.

### **Convertitore con nuova tecnica a slittamento ridotto**

Il nuovo cambio automatico a sei rapporti di BMW trasmette un feeling inusuale di dinamica, non tanto a causa dell'elevata spontaneità e precisione, quanto piuttosto per il collegamento diretto con il motore. Trasmette molto più direttamente la potenza erogata del gruppo motore. Per raggiungere questo effetto, è stato creato un collegamento più intenso tra motore e cambio automatico. Ciò riguarda non solo l'interattività dei comandi elettronici, ma anche il collegamento meccanico tra i due gruppi. Il motivo costituente della nuova agilità è l'innovativa tecnica del convertitore di coppia. Si tratta di una tecnologia che rinuncia praticamente in tutte le situazioni dinamiche allo slittamento che comunque è inutile e causa perdite di potenza.

Il giunto del convertitore chiude immediatamente dopo la partenza. In questo modo il cambio automatico a sei rapporti assicura il collegamento diretto con il motore; l'impressione alla guida equivale alla trasmissione tipica conosciuta dai veicoli con cambio manuale. Il disaccoppiamento delle vibrazioni torsionali per compensare le vibrazioni del motore ha due versioni concrete. Nei modelli con motore a benzina lo smorzatore torsionale a turbina assicura il collegamento armonioso tra il motore e la catena cinematica. In aggiunta è stato sviluppato uno speciale convertitore a doppio smorzatore per compensare la particolare caratteristica dei motori diesel.

Una delle nuove qualità del cambio automatico a sei rapporti è anche la capacità, già ricordata, di scalare anche di quattro rapporti senza nessuna perdita di tempo. Ciò ha richiesto di effettuare interventi di perfezionamento del sistema idraulico. Il nuovo cambio automatico infatti prevede il comando diretto della frizione interessata nel caso specifico. Ciò risparmia quel tempo altrimenti necessario per «saltare» un rapporto. La scelta del rapporto giusto presuppone ovviamente anche una notevole capacità di calcolo che è realizzata con un software particolarmente raffinato.

Tutte le innovazioni realizzate non privilegiano solo le qualità stradali ma anche l'efficienza del sistema propulsivo. Le cambiate veloci, anche a salire, la ricerca diretta del rapporto e il lock up del convertitore, praticamente senza slittamento, riducono i consumi in confronto ai cambi automatici finora in uso. La riduzione dei consumi sulla base del ciclo Ece, pari al 3 per cento

per i modelli a benzina e del 6 per cento per quelli diesel, è raggiungibile nell'uso quotidiano, salvo adeguato stile di guida. La costruzione compatta e leggera del cambio automatico a sei rapporti, con conseguente riduzione del peso, contribuisce a soddisfare il criterio di dinamica efficiente.

### **Novità per guidatori sportivi: comandi al volante**

Le qualità che esaltano il dinamismo delle automobili del brand BMW migliorano sensibilmente anche l'interesse per il nuovo cambio automatico a sei rapporti. Il nuovo cambio automatico, infatti, ha tempi di cambiata e reazione che perfino guidatori esperti difficilmente riescono a battere con un cambio manuale. Malgrado questa realtà, i guidatori sportivi apprezzano la possibilità di comandare manualmente le cambiate. Questa richiesta è ora soddisfatta con una soluzione particolarmente interessante. I modelli equipaggiati del nuovo cambio automatico hanno i comandi al volante per selezionare il rapporto desiderato. Rispetto al sistema Steptronic, proposto in abbinamento al cambio automatico e gestito sequenzialmente con la leva selettoria sulla consolle centrale, i comandi al volante permettono interventi molto più sportivi.

Il guidatore può soddisfare con la massima spontaneità immaginabile il suo piacere di comandare manualmente le cambiate. Per passare da una modalità di cambiata all'altra non è necessario usare la leva selettoria. E' sufficiente agire sul comando a bilico integrato nel volante per effettuare le cambiate manualmente. Basta premere il comando per salire o scalare le marce. Queste cambiate manuali in stile formula 1 erano in passato riservate al cambio meccanico automatizzato (SMG), proposto ad esempio per i modelli BMW M particolarmente sportivi.

## 2.7 Correnti energetiche più efficienti: gestione intelligente del generatore e recupero dell'energia frenante

I motori a combustione interna dei modelli BMW hanno un'efficacia certamente superiore alle unità propulsive delle generazioni passate. Il loro consumo è minore, mentre la potenza è superiore. Eppure ancora oggi solo il 25–30 per cento circa dell'energia contenuta nel carburante è trasformato in locomozione. La percentuale assolutamente più alta si trasforma in calore, del resto non valorizzato appieno. La generazione di energia elettrica per la rete di bordo consuma, inoltre, una percentuale costantemente crescente della potenza erogata dal motore. Questa è la ragione per la quale diventa sempre più importante usare un mirato management dell'energia di bordo. Con la regolazione intelligente dell'alternatore (IGR) BMW crea le premesse per produrre e valorizzare l'energia elettrica di bordo in maniera più efficace. L'innovativa tecnologia studiata per la rete di bordo comprende anche un sistema di recupero dell'energia generata in frenata (Brake Energy Regeneration).

Una dinamica efficiente non è solo conseguenza della carburazione efficace. Soluzioni innovative sono fattibili tenendo in debito conto tutte le influenze energetiche e la loro interazione. Tra lo scoccare della scintilla di accensione e la trasmissione della coppia sulla strada succedono molte cose, e non solo la combustione del carburante. E' un processo che sprigiona calore che, nel caso dei turbocharger, è recuperato dai gas di scarico per aumentare la potenza; gli scambiatori ricavano il calore dal liquido refrigerante per riscaldare l'abitacolo, altrimenti l'energia sarebbe persa. Nelle automobili moderne è, inoltre, anche cresciuto il fabbisogno di energia elettrica generata, accumulata e resa disponibile dal carburante attraverso il sistema alternatore-batteria. Questo maggiore fabbisogno è una conseguenza logica del crescente numero di funzionalità di comfort, ma anche di elementi innovativi importanti per la sicurezza e la dinamica, ad esempio la regolazione dell'assetto, lo sterzo attivo, la gestione del motore e l'ABS. Nell'ambito del management intelligente dell'energia BMW sta configurando in modo efficiente sia la generazione che l'uso di queste forme di energia.

### **Oggi una realtà: management intelligente di energia elettrica**

Due sono gli obiettivi principali: da un canto limitare il fabbisogno energetico complessivo senza tuttavia penalizzare le funzionalità proposte. Dall'altro trasformare l'energia contenuta nel carburante in energia elettrica in modo da minimizzare le perdite del bilancio globale. Le automobili BMW hanno tutte le premesse fondamentali per questi due approcci. Il management intelligente



dell'energia elettrica è applicato già oggi nella produzione di serie. Le nuove pompe elettriche del liquido refrigerante, montate sui motori a sei cilindri in linea BMW, sono attive solo a richiesta. Ciò significa che raggiungono la loro potenza massima solo durante le fasi a velocità alta e altissima. Subito dopo l'avviamento la pompa invece resta passiva. Questa scelta favorisce un rapido riscaldamento del motore. Dato che la pompa dell'acqua è elettrica, e dunque non è accoppiata al motore, essa preleva energia dal gruppo motore. Secondo i test Ece per omologare il motore, il funzionamento «a richiesta» riduce i consumi del 2 per cento circa.

BMW ha però sviluppato anche un altro sistema di management dell'energia che sarà integrato in un numero crescente di Serie con il compito di monitorare in permanenza lo stato della batteria. Il sensore intelligente batteria (IBS) assicura un quantum di energia sempre sufficiente per la prossima fase di avviamento. Così si evita la sollecitazione eccessiva della rete elettrica con conseguente scarico della batteria. La gestione prioritaria chiaramente definita può ridurre l'alimentazione di corrente alle funzionalità, ad esempio riscaldamento sedile o climatizzazione, destinate esclusivamente al comfort, mentre resta in ogni momento disponibile l'energia necessaria alle funzionalità preposte alla sicurezza, come pure una riserva per il prossimo avviamento.

### **Generazione controllata di corrente evita perdite di energia**

In futuro sarà controllato anche il momento della trasformazione di energia per continuare a migliorarne l'efficienza. L'elemento centrale di questo sistema di gestione è la regolazione intelligente dell'alternatore che coordina il management dell'energia in funzione della situazione reale di marcia. Ciò comprende anche il recupero dell'energia di frenata (Brake Energy Regeneration) e la sua alimentazione nella rete di bordo. L'IGR è basato su alcuni elementi di gestione della rete di bordo che, come l'IBS, hanno già dato prova di validità nell'uso pratico e sono disponibili su tutta la gamma di modelli. BMW proporrà tempestivamente anche le future innovazioni affinché un numero possibilmente alto di clienti possa approfittarne, con effetti positivi per i consumi globali di flotta.

L'energia elettrica è oggi costantemente generata in ogni fase di marcia. Il generatore, denominato alternatore, è mosso in permanenza dall'albero motore attraverso una cinghia. In futuro questa fase avverrà principalmente quando non c'è richiesta di potenza motrice, ossia durante le fasi di tiro e frenata. Durante l'accelerazione, ad esempio, è disponibile un volume maggiore di energia da carburante per la trasformazione in energia cinetica. Durante questa fase la rete di bordo è alimentata esclusivamente dalla batteria. Il generatore invece torna ad essere attivo, quando il motore è in rilascio oppure lo stato di carico della batteria fosse precario.

## **Brake Energy Regeneration: l'impianto freni è una fonte di energia**

L'obiettivo dello sviluppo è di generare energia elettrica senza ricorrere alla potenza del motore e, di conseguenza, all'energia contenuta nel carburante. La corrente, in questo senso economica, viene generata sia nelle fasi di tiro attraverso il generatore, ed anche in frenata attraverso il recupero dell'energia liberata. Un elemento installato direttamente nell'impianto freni trasforma l'energia prodotta durante le fasi di decelerazione in corrente elettrica. Ciò riduce notevolmente la necessità di generare energia elettrica nella fase di tiro. Di conseguenza, è molto rara la trasformazione diretta di energia del carburante in energia elettrica. La regolazione intelligente del generatore e la Brake Energy Regeneration miglioreranno di molto l'efficienza del motore e l'economicità della macchina.

Una premessa importante per il management energetico dipendente dallo stato di funzionamento è la riduzione mirata dello stato di carico della batteria. Durante la fase di tiro del motore, e in funzione delle condizioni ambientali, la batteria è caricata solo per circa l'80 per cento. Resta in ogni caso salvaguardata e garantita una riserva sufficiente per i consumi della macchina ferma e per il prossimo avviamento. Il volume eccedente è raggiunto esclusivamente durante le fasi di spinta e frenata da considerare vantaggiosi in termini energetici. L'energia così generata potrà essere utilizzata anche durante le fasi di tiro, senza tuttavia richiedere il funzionamento del generatore. Dato che la gestione oculata comporta anche un aumento dei cicli di carico, la regolazione intelligente del generatore è combinata in BMW con le moderne batterie del tipo AGM (Absorbent Glass Mat). Questo tipo è più resistente della tradizionale batteria al piombo. Le batterie AGM hanno materassini in microfibra di vetro tra gli strati piombo imbevuti di acido. La loro capacità di accumulo energetico rimane salvaguardata anche per il caso che le operazioni di carico-scarico fossero frequenti.

## **La frenata genera corrente, l'accelerata pura dinamica**

L'impiego della regolazione intelligente del generatore con la Brake Energy Regeneration ha due tipi di vantaggi nella guida pratica di tutti i giorni. Da un canto la generazione mirata di energia elettrica riduce i consumi del 3 per cento circa secondo il test di omologazione Ece. Dall'altro il guidatore approfitta direttamente del disaccoppiamento del generatore nelle fasi di tiro. Durante l'accelerazione è disponibile una maggiore potenza propulsiva per una guida più impegnativa. Anche in questa situazione la dinamica efficiente ha vantaggi di economicità e divertimento di guida.

Il management intelligente dell'energia elettrica contiene un considerevole potenziale per incrementare il rendimento delle automobili moderne. A tale proposito si tratta di minimizzare le perdite energetiche, di aumentare il recupero e di alleggerire i processi meccanici di trasformazione in modo da trasformare in dinamica una percentuale possibilmente elevata di energia

contenuta nel carburante. Ogni intervento è in grado di ridurre notevolmente i consumi. Tutti insieme migliorano le qualità stradali. La strategia BMW della formula globale per il management energetico lascia attendere notevoli progressi nel campo della dinamica efficiente delle future generazioni di automobili. La regolazione intelligente del generatore con Brake Energy Regeneration è applicabile all'intera gamma di modelli BMW. I loro benefit economici ed ecologici saranno di conseguenza accessibili subito ad un gran numero di utenti.



### **3. Materiali BMW: Know-how integrato dalla ricerca alla produzione**

#### **3.1 Massima funzionalità alla leggera: sviluppo intelligente di materiali per carrozzerie e motori**

La BMW Serie 5 è un vero fenomeno. E' più dinamica e più spaziosa ed ha un livello di comfort e sicurezza molto più sofisticato del modello precedente. Manca tuttavia una disciplina, in cui non è stata realizzata una crescita, anzi, dove, a seconda della versione di confronto, la BMW Serie 5 è più leggera del modello precedente, addirittura di 75 chilogrammi. I progettisti sono riusciti ad interrompere la spirale del peso; ciò grazie soprattutto all'impiego mirato di materiali moderni nonché ai progressi realizzati in campo concettuale, costruttivo e procedurale. Per continuare anche in futuro su questa strada gli specialisti della divisione resistenza e materiali del Centro ricerca e innovazione (FIZ) di Monaco verificano costantemente per ogni componente il materiale più adatto e studiano i processi produttivi necessari. Sono in permanenza chiamati a perfezionare il loro know-how, perché non esiste un materiale unico perfettamente adatto per tutti gli impieghi e modelli. Serve invece un mix intelligente di materiali. In linea con il concetto del modello interessato e le sue esigenze, gli ingegneri studiano il materiale più appropriato per ogni singolo componente. In tale situazione sviluppano in parte materiali innovativi che abbinano differenti vantaggi in una forma finora sconosciuta. Nella migliore delle ipotesi ogni innovazione materiale presenta non solo una funzionalità potenziata ma anche una resistenza e longevità migliore nonché un peso ottimizzato.

Oltre alla richiesta di maggiore comfort e di funzionalità innovative, devono essere rispettate anche le normative, ad esempio nei campi della sicurezza e della pulizia dei gas di scarico, che possono significare aumenti di peso. A maggior ragione BMW oppone al trend generale verso automobili sempre più grandi ed attrattive un concetto intelligente. BMW, infatti, associa alla maggiore dinamica il minor consumo, le minori emissioni e il peso ridotto. Questi sono gli obiettivi che qualificano la strategia di sviluppo della dinamica efficiente.

Materiali innovativi possono contribuire in quasi tutte le parti dell'automobile a ridurre il peso. Leghe molto sofisticate di metalli aumentano la resistenza dei componenti con un impegno relativamente contenuto di materiali: lo dimostrano in maniera convincente ad esempio le traverse in acciaio resistente e altoresistenziale. Il fatto che alcuni metalli particolarmente leggeri hanno, oltre ai loro vantaggi, anche caratteristiche negative – ad esempio sensibilità all'acqua – non può certamente fermare il progresso

della ricerca. Processi produttivi speciali e tecnologie innovative di giunzione ottimizzano le qualità dei materiali scelti. Un esempio potrebbe essere il disco

freno in costruzione leggera della nuova BMW Serie 5, costruito con una corona d'attrito in ghisa grigia e una parte interna bombata in alluminio. Per motivi di resistenza all'usura e al calore la ghisa grigia è la prima scelta per la corona d'attrito. L'alluminio usato per la parte interna invece riduce il peso dell'elemento. Il processo di produzione è più impegnativo, però l'intervento è giustificato, perché i dischi freno sono una parte delle masse non sospese e la riduzione del peso contribuisce a migliorare le qualità stradali.

Gli sviluppi nel campo delle materie sintetiche sono sempre più veloci, ovviamente sulla scia dei ritrovati della scienza e delle ricerche sempre più articolate. L'impiego di materie sintetiche è stato potenziato, grazie ai sistemi perfezionati di materiali e alle procedure ottimizzate, perché è cresciuta a velocità vertiginosa la varietà dei materiali che fanno parte di questa categoria. In pratica possono essere sviluppati materiali sintetici studiati per le precise esigenze del componente finito.

### **Natura insegna: strutture ottimali per meno peso**

Gli studi di ricerca e sviluppo degli specialisti BMW seguono sempre anche gli esempi di madre natura. Basta osservare attentamente la struttura delle piante oppure dell'apparato locomotore dei mammiferi o degli uccelli per capire che l'evoluzione ha generato forme sorprendenti che fanno uso efficiente dei materiali. Non è certamente possibile copiare direttamente quelle soluzioni, che però possono servire da esempio e suggerire innovazioni tecnologiche. E' consigliabile analizzare a fondo le strutture superficiali delle piante, la conformazione flessibile delle ossa oppure la concentrazione, spesso perfezionata dalla natura, di materiali in punti ad alta sollecitazione per ricavarne stimoli per lo sviluppo di materiali innovativi.

La struttura cava cornea delle penne degli uccelli è un esempio ideale per la produzione di metalli. La soluzione ha, infatti, condotto gli specialisti della BMW alla tecnologia dell'idroformatura (sigla tedesca IHU). In una prima fase il processo prevede che i tubi metallici sono curvati e poi inseriti in uno stampo di formatura. Alle due estremità è esercitata una spinta da un fluido idraulico o da aria ad elevatissima pressione, finché il metallo aderisce al profilo dello stampo. Questa tecnologia consente di creare geometrie che sfruttano al meglio lo spazio disponibile mantenendo un peso molto ridotto. I componenti prodotti per idroformatura sono – come le penne degli uccelli – estremamente robusti, leggeri e flessibili.

Un altro principio della natura è impiegato per plasmare la plancia portastrumenti della nuova BMW Serie 3. La procedura di stampaggio ad iniezione con espansi integrali prevede l'aggiunta di un agente rigonfiante al materiale

liquido per liberare – come nel caso del lievito – sostanze gassose sotto l'azione del calore. L'effetto è valorizzato nel senso che lo stampo pieno di materiale liquido viene aperto da una entità predefinita non appena la superficie del componente si è solidificata. In questo momento collassa la pressione nella parte interna ancora liquida e i gas presenti fanno schiumare il materiale liquido. La plancia porta-strumenti così prodotta ha un peso ridotto di circa 20 percento rispetto ad una plancia tradizionale di dimensioni paragonabili.

### **Singolare: sottoscocca multifunzione**

Il rivestimento del sottovettura migliora sensibilmente l'aerodinamica della BMW Serie 5. A questo modo sono stati abbassati la resistenza aerodinamica e il coefficiente di portanza. Altrettanto interessante è anche il materiale di rivestimento utilizzato. Si tratta di Low Weight Reinforced Thermoplastics (LWRT), uno sviluppo mirato ad alleggerire la macchina mantenendo tuttavia le funzionalità richieste dal cliente. Rispetto ai pannelli sottoscocca tradizionali, quelli innovativi in LWRT hanno un peso inferiore di circa 30 percento. Inoltre sono state migliorate anche altre caratteristiche: la protezione contro l'acqua e i danni da pietrisco.

L'innovativo materiale LWRT ha due fasi. In una prima procedura è realizzato uno strato nucleo formato da materiale termoplastico, rinforzato con fibra di vetro, sigillato sulle due facce con una pellicola termoplastica per formare un semilavorato piano a forma di sandwich. Nella seconda fase operativa il semilavorato assume la sua forma geometrica definitiva, grazie alla pressione esercitata e alla temperatura applicata. Il materiale è compresso lungo i bordi e nelle zone di avvitamento al sottoscocca. Nelle altre parti resta invariata la struttura a sandwich per aumentare la resistenza alla flessione. La buona formabilità del semilavorato e la possibilità di creare spessori differenziati delle pareti permette di realizzare geometrie precise per il componente, a seconda delle richieste specifiche.

BMW è l'unico produttore del mondo che ha sistemi di materiali tanto sofisticati per i pannelli sottoscocca delle sue automobili. L'innovativo materiale LWRT è stato sviluppato per il sottovettura della BMW Serie 5. Subito dopo la sua prima mondiale nel 2004 questa innovazione è stata premiata dalla rinomata Society of Plastic Engineers (SPE) con SPE Award, l'«Oscar dell'industria delle materie sintetiche». Nello stesso anno il sistema di materiali ha ottenuto la premiazione per la migliore innovazione da AVK-TV (la federazione tedesca dei compositi). Oggi, LWRT è un materiale usato anche nei modelli della BMW Serie 3 e BMW Serie 1.

### **La nuova schiuma strutturale crea collegamenti**

Più funzionalità, meno peso: un altro esempio che ha saputo realizzare questi due traguardi usando materiali innovativi è la struttura della scocca della

BMW Serie 5 Touring. L'integrazione del tettuccio panoramico migliora la struttura della macchina a livello del primo, secondo e terzo montante. Questo costituiva una nuova sfida per gli ingegneri. L'obiettivo dello sviluppo dei materiali era di garantire una rigidità dinamica possibilmente elevata della scocca e di ottimizzare il comfort vibrazionale, senza penalizzare il peso della macchina. Invece di usare paratie di acciaio oppure profilati con pareti spesse, ora si usa un'innovativa schiuma strutturale molto più leggera.

Il materiale è integrato nelle macchine al momento della lastratura. Gli elementi in schiuma strutturale si espandono durante la verniciatura secondo criteri chiaramente definiti, aumentando a questo modo la rigidità dinamica dell'automobile. Rispetto alla tradizionale costruzione di acciaio, l'impiego degli elementi in schiuma strutturale riduce il peso di circa dieci chilogrammi. Il nuovo sistema di materiali è stato integrato con particolare rapidità ed efficacia nel processo produttivo, perché potevano essere eliminate le fasi di saldatura nell'assemblaggio.

### **Pannelli laterali in materia sintetica aumentano la dinamica**

Materiali alleggeriti sono usati da BMW solo, quando hanno quantomeno pari efficacia nelle loro funzionalità come i materiali tradizionali. I criteri per misurare la funzionalità sono vari. Tra questi si ricorda la stabilità e la longevità come pure le qualità tattili ed estetiche che il cliente apprezza. Ma le caratteristiche di un nuovo materiale hanno effetti anche per il design. Sono considerati essere materiali ottimali quelli che sono formabili con totale flessibilità, che si possono lavorare senza alcun problema, che hanno estetica pregiata e che conservano la loro qualità anche nel tempo. Da esempio classico serva a tale proposito il pannello laterale anteriore della nuova BMW Serie 3 Coupé. L'elemento è prodotto con un innovativo materiale termoplastico; il suo peso è circa la metà dello stesso pannello in acciaio.

Il peso della Coupé si riduce a questo modo di circa tre chilogrammi. Dato che questo progresso interessa l'asse anteriore, il vantaggio si fa sentire appieno nelle qualità stradali. Grazie a questo alleggerimento nel modulo anteriore è più facile realizzare l'equilibrata ripartizione dei carichi sugli assi nel rapporto 50 : 50. In produzione il cambio del materiale da acciaio alla materia sintetica hightech non fa differenza. I pannelli laterali in materia sintetica sono integrati online nella fase di verniciatura, cioè senza dover passare per un reparto separato di assemblaggio. Contrariamente ai componenti in plastica del passato, quelli innovativi non devono più essere verniciati separatamente e poi assemblati. Possono seguire il processo di verniciatura normale insieme alla scocca. L'elevata resistenza alla formatura a caldo nonché la dilatazione longitudinale e l'assorbimento di umidità ottimizzati attribuiscono ai pannelli laterali verniciati le stesse qualità, anche estetiche, di un componente tradizionale in acciaio.

Questo materiale innovativo offre nuove ipotesi creative anche al centro stile. Il materiale è più flessibile dell'acciaio – una circostanza che lascia nuovi spazi di libertà ai designer. Vi si aggiunge una caratteristica che ha già portato notevoli vantaggi agli utenti, quando sono stati progettati i paracolpi reversibili. Il pannello laterale in materiale sintetico è ampiamente resistente alle temute bottarelle. In caso di leggera deformazione, infatti, il pannello ritorna alla sua forma originaria. Gli urti a velocità minima, talvolta inevitabili in manovra di parcheggio, non lasciano tracce permanenti.

### **Magnesio per il motore: BMW è leader**

Il magnesio è considerato un materiale hightech e simbolo della costruzione avanguardistica di automobili. Ma qual è il suo vero potenziale intrinseco? Gli ingegneri interessati nello studio nel BMW Group fanno un'analisi molto sobria. Il magnesio è il concorrente naturale dell'acciaio, dell'alluminio e della materia sintetica. Un vantaggio ovvio è il suo basso peso specifico; infatti, magnesio peso circa 60 percento meno dell'acciaio. Ma il peso è inferiore anche nel confronto con l'alluminio, dove il benefit è pari a circa 30 percento. Nelle discipline della resistenza torsionale, della formabilità, della resistenza termica e della resistenza alla corrosione soltanto le leghe innovative di magnesio riescono a pareggiare le qualità dell'acciaio e dell'alluminio. Bisognerà fondamentalmente valutare attentamente i casi in cui effettivamente è indicato usare questo materiale, non trascurando il prezzo della materia prima e i complessi processi di colata e produzione che, almeno inizialmente, penalizzano l'impiego del magnesio su scala industriale. Recentemente sono, tuttavia, notevolmente aumentati i campi di applicazione di questo materiale. L'ossatura dei sedili e le corone dei volanti sono prodotte in fusione di magnesio. Anche il carrier in magnesio riduce notevolmente il peso.

Un esempio particolarmente impressionante dell'impiego di magnesio con una ricaduta immediata per la dinamica efficiente è il motore BMW a sei cilindri in linea. Il propulsore presentato per la prima volta sul modello BMW 330i genera fino a 195 kW/265 CV di potenza da una cilindrata di 3,0 litri: il motore pesa solo 161 chilogrammi. Il basamento del sei cilindri in linea è un composito di magnesio e alluminio. Per la sua produzione è stato sviluppato un innovativo procedimento di colata che permette di unire in maniera ottimale i materiali. Magnesio è inoltre utilizzato per il bedplate e il coperchio della distribuzione del sei cilindri. Insieme ad altri interventi ancora, l'uso del basamento in magnesio e alluminio realizza una riduzione del peso pari a circa 10 chilogrammi rispetto all'originario motore a sei cilindri in linea. La riduzione di peso nel modulo anteriore contribuisce inoltre direttamente alla distribuzione uniforme dei carichi sugli assali e, di conseguenza, a migliorare l'agilità.



Per applicazioni future gli ingegneri del BMW Group puntano sulle leghe innovative di magnesio. Sarebbe sfidante utilizzare il magnesio soprattutto per lo châssis per ridurre notevolmente le masse non sospese. Questi progetti saranno affrontati insieme dalla ricerca sui materiali, dalle case automobilistiche, dai fornitori e dai tecnici della produzione. Con le esperienze accumulate e l'elevata competenza tecnologica il BMW Group si schiera indubbiamente ai vertici del progresso.