

Doppia coppia

▲ di Franco Cavazzano

Dopo il successo del common rail a pressioni sempre maggiori, ora è la volta della sovralimentazione multistadio, con più turbine, che ha già permesso al motore Diesel di superare la soglia dei 100 CV/litro. Ecco come.

Solo 5 anni fa, il motore BMW 3.0 6 cilindri Diesel, considerato un riferimento della categoria, vantava 204 CV: la stessa potenza raggiunta oggi dal suo fratellino 2.0 4 cilindri, grazie alla sovralimentazione a doppia turbina. Un dato che rende l'idea della frenetica spinta tecnologica sul motore a gasolio, non solo nel sistema di iniezione ma anche nella sovralimentazione, che permette al Diesel di esprimersi al meglio. La competitività dei sistemi biturbo è testimoniata dal fermento di un po' tutte le case nei confronti di questa soluzione, che a dispetto del suo costo elevato – per ragioni più impiantistiche che componentistiche – offre prestazioni, in termini sia di potenza massima sia di erogazione, che nemmeno le più evolute e costose turbine a geometria variabile (VGT) riescono a garantire. Per inciso il motore BMW 3.0 6 cilindri, il primo ad abbandonare la VGT in favore del VTT, è passato da 204 a 272 CV (diventati 286 nella sua ultima evoluzione) senza aumentare la pressione del common rail: segno che la parte del leone l'ha fatta proprio la sovralimentazione.

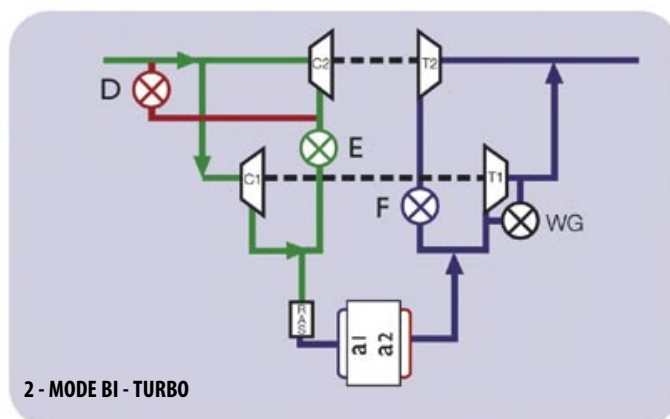
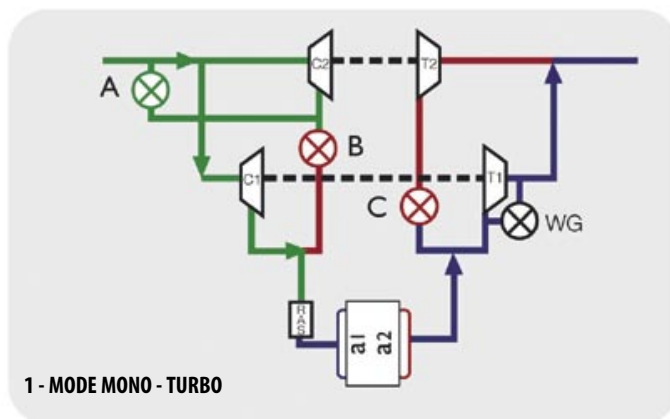
I sistemi biturbo si compongono di due turbocompressori messi in serie in modo che i gas di scarico attraversino prima la turbina piccola e poi quella grande, mentre l'aria in aspirazione attraversi prima il compressore grande e poi quello piccolo

SENZA COMPROMESSI

Perché è così importante questa tecnologia? Perché in un motore Diesel, che funziona praticamente sempre in eccesso d'aria (ovvero con miscele magre), la disponibilità di un maggior volume di aria

e di una maggior turbolenza consente di bruciare meglio il gasolio, soprattutto a pieno carico. Il turbocompressore fornisce aria "gratis", prelevando energia cinetica dai gas di scarico (turbina) e restituendola ai gas in aspirazione (compressore), in modo che il cilindro aspiri aria più densa, quindi una maggiore massa nello stesso volume. La sovralimentazione è il complemento perfetto dell'iniezione diretta multipla ad alta pressione, che polverizzando più finemente il carburante e pre-riscaldando l'aria ottimizza la combustione. Ecco perché maggiore

è la quantità di aria di cui un Diesel può disporre migliore è la combustione, e in sostanza migliore è il funzionamento del motore a parità di altre condizioni. E poiché nel motore viene compressa solo aria, non



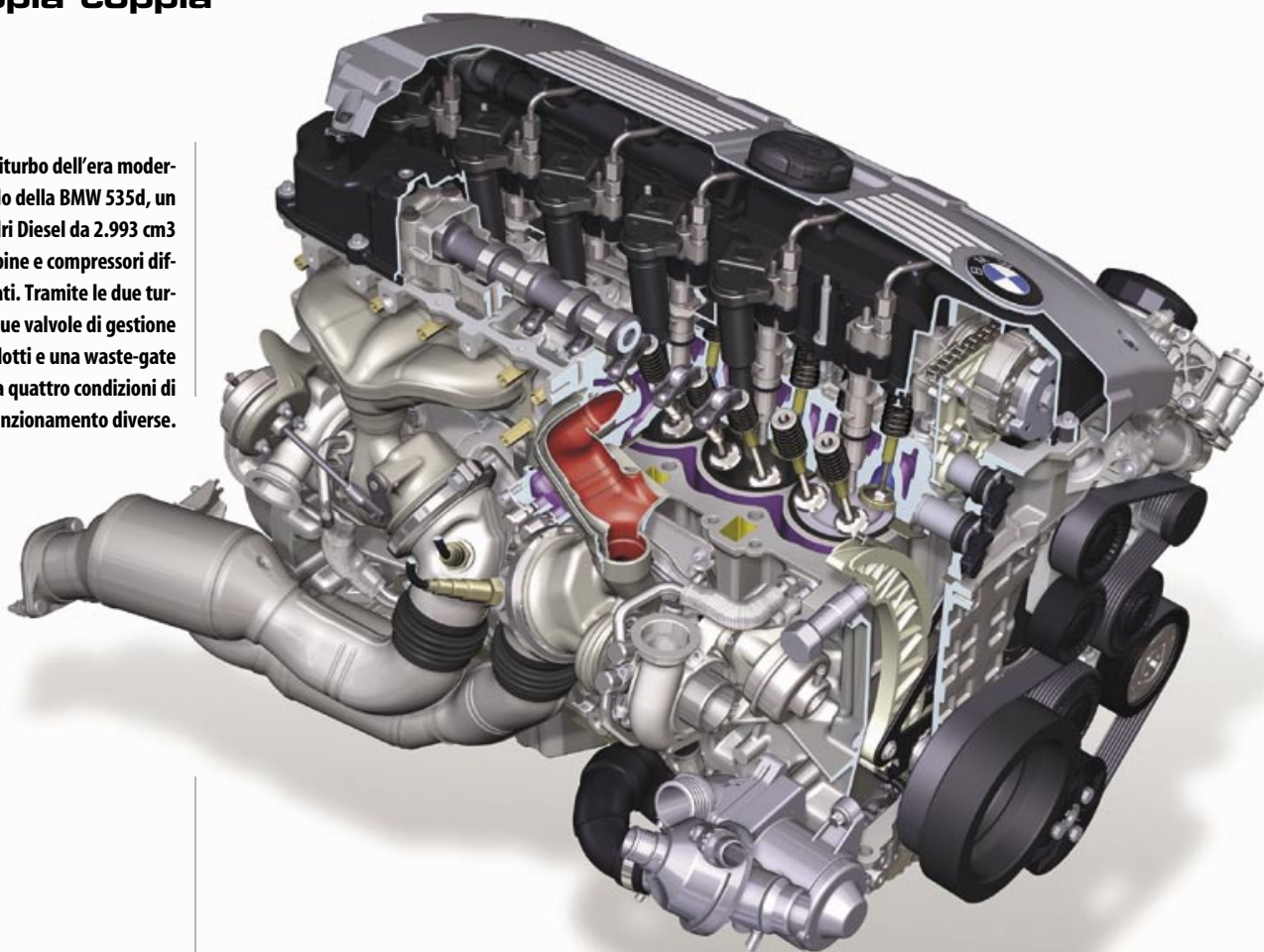
c'è alcun problema di detonazione. Questo è il motivo fondamentale per cui il turbocompressore è un alleato insostituibile del Diesel: aumentando la portata d'aria aspirata determina unicamente vantaggi: in particolare un aumento del rendimento, che si traduce in maggior potenza e minori consumi. E questo spiega anche perché il costoso passo verso la doppia sovralimentazione sia stato ormai compiuto da molte Case. La stessa cosa comincia a valere per i motori a benzina, da quando si è diffusa l'iniezione diretta che ha avvicinato il ciclo Otto al ciclo Diesel: ecco perché BMW sta estendendo la VTT ai suoi motori a benzina. Il turbocompressore è infatti una macchina dalle caratteristiche fluidodinamiche piuttosto "rigide". Le turbine hanno un range di efficienza ridotto: per sfruttare al meglio le caratteristiche della girante, ovvero la dimensione e la forma delle sue palette, i gas che le attraversano devono avere una certa velocità e portata. Nei transitori, inoltre, la elasticità del gruppo turbocompressore dipende dalla sua inerzia, legata a forma, dimensioni e massa. Succede allora che i turbocompressori dimensionati per fornire le grandi portate d'aria richieste agli alti regimi sono inadatti ad alimentare adeguatamente il motore ai bassi, e hanno inerzie elevate che li rendono poco reattivi durante i transitori (accelerazioni). Ciò fa sì che

al di sotto di una certa soglia vengano di fatto esclusi determinando il noto fenomeno del "ritardo" o turbo-lag. Per di più i turbocompressori vengono preservati anche ad altissime portate, limitando la pressione massima di uscita dal compressore tramite una valvola di sfiato (waste-gate). Per aumentare la flessibilità di utilizzo delle turbine sono state introdotte le turbine a geometria variabile (VGT), in cui le palette della girante o dello statore sono orientabili. In questo modo si possono avere canali stretti e arcuati per le portate basse, larghi e dritti per quelle alte: il rendimento della turbina è buono su un range di regimi più esteso, il turbo-lag molto ridotto e la gradualità con cui il propulsore sale e scende di giri migliora. Sempre meno, però, di quanto possa fare un impianto a doppio turbo, che utilizza due turbine a geometria fissa di diversa dimensione cercando di "sposarle" nel migliore dei modi al regime di funzionamento. Con questa soluzione si riesce ad adattare molto meglio le turbine alla grande escursione di regime dei motori automobilistici, facendo lavorare ciascuna turbina nel campo di funzionamento ottimale (la piccola ai bassi e la grande agli alti) e adottando una combinazione delle due nelle zone intermedie. Sul Diesel, questa tecnologia è stata decisiva per superare la soglia dei 100 CV/litro. Sarebbe peraltro ormai

Sulla BMW X6 debutterà il primo biturbo montato su un motore V8 a benzina e iniezione diretta. Ragguardevoli non tanto le prestazioni (400 CV e 610 Nm), quanto l'elasticità: la coppia massima è erogata da 1.800 a 4.500 giri! Lo schema di funzionamento è analogo a quello del biturbo a giranti gemelle PSA-Ford (qui sopra): ai bassi funziona solo la turbina T1 e quindi il compressore C1; agli alti, si apre il ramo del circuito che attiva la turbina T2 e il compressore C2 che pre-comprime aria per C1.

Doppia coppia

Il primo biturbo dell'era moderna è quello della BMW 535d, un 6 cilindri Diesel da 2.993 cm³ con turbine e compressori differenziati. Tramite le due turbine, due valvole di gestione dei condotti e una waste-gate realizza quattro condizioni di funzionamento diverse.



tempo di smettere di ragionare sempre in termini di potenza e passare finalmente a considerare la coppia, perché questi nuovi motori sono ormai tranquillamente sopra i 500 Nm: valori che le supersportive di non molti anni fa neppure si sognavano e che minacciano di macinare i comuni cambi – tanto è vero che nelle marce basse le velleità dei moderni turbodiesel vengono sistematicamente “castrate” per via elettronica (si parla ufficialmente di “regolarizzazione dei bassi”), di solito attorno al valore di 400 Nm sostenibile dalle scatole cambio progettate per le vetture di classe media.

CI SONO UN TEDESCO, UN FRANCESE E UN ITALIANO...

Sul mercato attualmente si trovano 3 Diesel biturbo: il VTT (Variable Twin Turbo) di BMW, declinato sul 3.0



La stessa tecnologia è stata estesa nel 2007 al diffuso 4 cilindri 2.0 che ha guadagnato iniettori piezo e in questa configurazione ha raggiunto la bellezza di 204 CV. Visibili in basso anche i nuovi contralberi di tipo Lancaster.

6 cilindri della Serie 5 (denominata 535d) e sul 2.0 4 cilindri delle Serie 1 (123d) e 3 (323d); il 2.7 6 cilindri PSA-Ford, montato sulle ammiraglie dei due Gruppi; e il recente Fiat TST (Twin Stage Turbo), presentato per ora sul solo 4 cilindri 1.9 e montato sia su vetture del Gruppo, in versione da 190 CV, che venduto a terzi (finora soprattutto GM) in versione da 180 CV.

Il primo ad arrivare è stato il motore BMW 3.0, su cui la tecnologia è stata messa a punto. Ma BMW ha dato il meglio di sé sul recente 2.0, dove il VTT è la punta dell'iceberg di un progetto che conta nuovi contralberi Lancaster, iniettori piezoelettrici con pressione cresciuta da 1.800 a 2.000 bar, FAP di seconda generazione in ceramica, senza additivo e manutenzione oltre alle soluzioni del “pacchetto” Efficient Dynamics: sistema Start&Stop, rigenerazione in frenata, generatore ‘passivo’, ausiliari on-demand (pompa benzina, compressore A/C). Riprogettata anche la testata, con condotti di aspirazione tangenziali e valvole più grandi. Sul VTT la turbina piccola è attiva da 800 a 3.200 giri/min circa, con effetto di pre-compressione sulla maggiore (disposizione serie). La pressione massima in camera di combustione, indice dell'efficienza della combustione, è di 180 bar, mentre il rapporto di compressione scende a solo 16:1 per ridurre la ruvidità del motore.

Il motore PSA-Ford ha una filosofia leggermente diversa, che punta sulla reattività: utilizza due piccoli turbo-compressori Honeywell, identici e montati in parallelo: il primo è attivo dal minimo a 2.600 giri/min, quando la



Il modulo di sovralimentazione del 6 cilindri benzina BMW che equipaggia la 135i e la 335i. Sul motore a benzina il biturbo è ancora più interessante, data la difficoltà pratica di realizzare le VGT a causa dell'elevata temperatura dei gas di scarico (al momento solo la Porsche Carrera Turbo ne monta una).

portata dei gas di scarico è troppo alta e viene progressivamente chiamato in causa il secondo (la transizione è completa a 3.200 giri/min). Molto elastico ma non particolarmente spinto – una conseguenza della scelta di due giranti gemelle di piccolo diametro, molto pronte ma meno efficienti agli alti – questo 2.7 eroga 207 CV a 4.000 giri/min e 440 Nm a 1.900. È stata presentata anche una versione da quasi 2,2 litri di cilindrata, con FAP di serie, che sviluppa 170 CV e 370 Nm di coppia massima, ottenuti però a soli 1.500 giri/min; a 1.250 giri/min, il 2.2 sviluppa 280 Nm. Il rapporto di compressione è di 16,6:1 e il Common Rail ha iniettori piezo multiforo da 1.800 bar. La coppia massima è di 400 Nm a soli 1.750 giri/min (contro i 2.000 giri/min della VGT, grazie alla piccola dimensione delle giranti del biturbo); la transizione avviene in questo caso a 2.700 giri/min.

Debutta in questi giorni il motore Fiat JTD 1.9 TST, sostanzialmente il classico JTD nella sua ultima evoluzione in cui al posto della turbina a geometria variabile è adottato un più complesso circuito di tubi di scarico che ospita le due turbine. La piccola (35 mm di diametro, abbinata a un compressore da 40 mm) è analoga a quella del quattro cilindri 1.3 Multijet, mentre la grande (50 mm di diametro, compressore da 58 mm) è parente della precedente VGT. Fiat non cede alla moda del piezoelettrico, tanto rapido quanto costoso, e continua a puntare sugli iniettori a solenoide, che hanno ormai raggiunto pressioni di 1.800 bar e non hanno veri svantaggi se si esclude il ritardo congenito del solenoide,



il cui tempo di reazione più alto rispetto al piezo può però essere compensato attraverso opportune strategie di controllo. I risultati sono considerevoli: potenza e coppia massima sono aumentati del 25% (400 Nm e 180 o 190 CV), e la seconda addirittura del 50% ai bassi, superando i 300 Nm già da 1.250 giri/min.

Per di più la soluzione del doppio turbo, ottimizzando l'aspirazione a tutti i regimi, consente di aumentare la quantità di EGR (i gas di ricircolo reimmessi in camera per 'raffreddare' la combustione limitando gli NO_x) senza penalizzare i consumi. Il motore 1.9, con una

Un costruttore storico di Diesel come PSA non poteva trascurare la tecnologia della doppia sovralimentazione, basata su due piccole giranti Honeywell, che ha co-sviluppato con Ford debuttando sul V6 2.7 che equipaggia l'alto di gamma da Citroën a Jaguar.

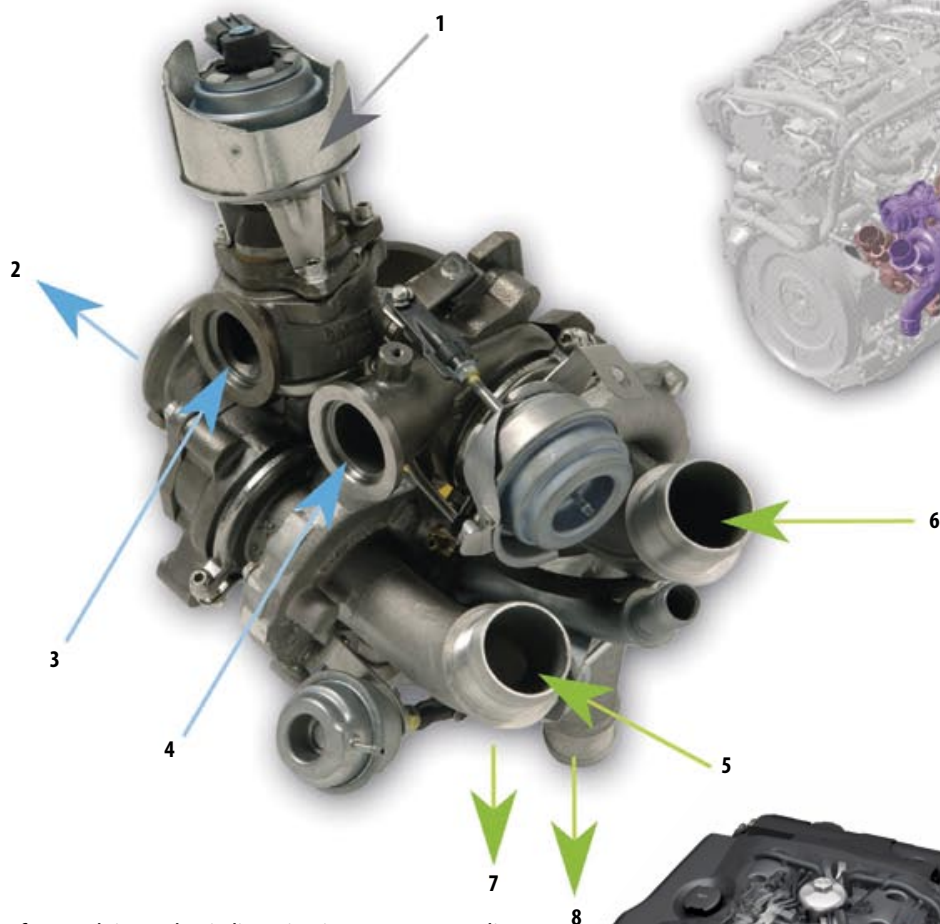
Doppia coppia



Ecco l'andamento dei flussi nello schema di doppia sovralimentazione PSA-Ford

A - Flusso dell'aria; B - Flusso dei gas di scarico

- 1 - VT2 : Valvola Turbina 2
- 2 - Uscita comune turbine
- 3 - Ingresso Turbina 2
- 4 - Ingresso Turbina 1
- 5 - Ingresso Compressore 2
- 6 - Ingresso Compressore 1
- 7 - Uscita Compressore 2
- 8 - Uscita Compressore 1



nuova forma dei condotti di aspirazione, rapporto di compressione ridotto da 17.5 a 16.5, candele di preriscaldamento metalliche a basso voltaggio, EGR con raffreddamento ad acqua e sonda Lambda abbinata al filtro antiparticolato DPF, è già pronto per la Euro 5.

Il sistema di iniezione Common Rail Multijet con iniettori a solenoide arriva per ora a pressioni di iniezione di 1.600 bar, con una pressione in camera che raggiunge i 180 bar. Ancora non debuttano gli ausiliari on-demand (pompa acqua, pompa olio, compressore impianto di climatizzazione) che BMW già monta, ma sembra in compenso che Fiat sia vicina al lancio della sua arma finale: il Common Rail II con controllo continuo degli iniettori.

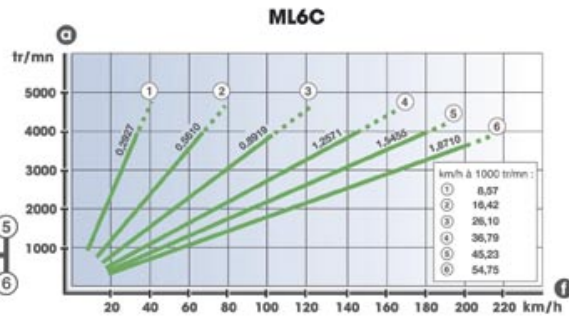
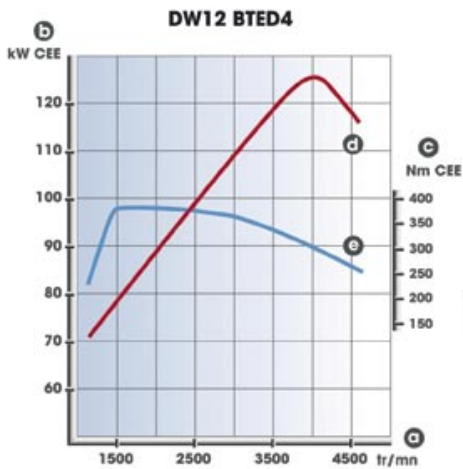
RESPIRA VIVO

I sistemi biturbo si compongono di due turbocompressori messi in serie in modo che i gas di scarico attraversino prima la turbina piccola e poi quella grande, mentre l'aria in aspirazione attraversa prima il compressore grande e poi quello piccolo (sui PSA-Ford i due gruppi sono uguali). Sono inoltre previsti una serie di tubi e valvole per realizzare le diverse condizioni di funzionamento, in realtà molto sfumate fra loro perché per ottenere la massima linearità di erogazione le valvole non lavorano secondo la logica aperta/chiusa ma si

Anche Fiat ha lanciato un biturbo: si chiama JTD TST 1.9, raggiunge i 190 CV e dovrebbe debuttare sulla nuova Lancia Delta.

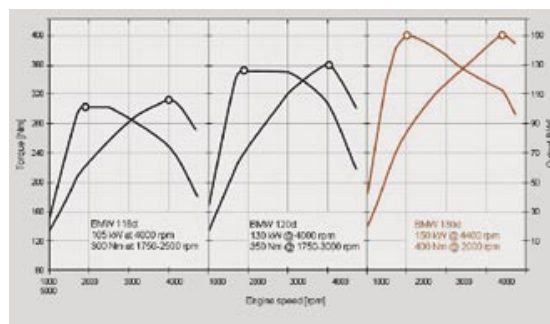
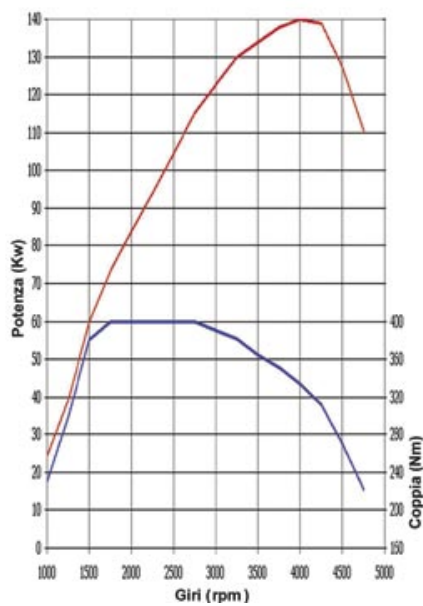
Dopo il V6, PSA e Ford hanno esteso la tecnologia del turbo a doppio stadio a questo 4 in linea 2.2 da 170 CV dall'erogazione altrettanto progressiva.





muovono progressivamente secondo i comandi della centralina. In linea di massima, ai bassi regimi lavora la sola turbina piccola (i gas attraversano la grande senza effetto, avendo portata bassa). Ai medi la valvola di ripartizione centrale attiva la turbina grande, e le due lavorano insieme (la grande fa da precompressore) secondo un rapporto deciso dalla centralina. Agli alti la turbina piccola viene completamente bypassata. Agli altissimi regimi, infine, la valvola waste-gate realizza un parziale by-pass anche della turbina grande: la turbina continuerebbe ad accelerare, mentre il motore è vicino al suo limite. Il funzionamento dei sistemi biturbo è sostanzialmente questo: cambia solo qualche parametro come la soglia di passaggio del turbo, per lo più nell'intorno dei 3.000 giri, oltre la quale la girante piccola viene completamente bypassata. Fino a questo regime, c'è invece un controllo continuo che ripartisce il flusso dei gas tra le due giranti; ad altissimi giri interviene comunque la valvola waste-gate per limitare la pressione. La fascia critica per il sistema di controllo è quella da 1.500 a 3.000, in cui è importante rendere i transitori dell'impianto impercettibili alla guida. Proprio in questa fascia si ha il maggiore incremento prestazionale, tanto è vero che il motore Fiat dichiara, a consumi immutati, una riduzione del 37% del tempo di ripresa da 70 a 120 km/h in sesta.

Rispetto all'attuale JTD 16V da 150 CV; l'accelerazione 0-100 km/h scende invece di oltre il 10%. Nonostante l'aumentata complessità impiantistica e le soluzioni allo stato dell'arte come l'EGR con intercooler e la riduzione del rapporto di compressione, il tema tecnico di questi propulsori è un tema tipicamente moderno: il controllo del sistema, che deve evitare che le diverse soglie di intervento siano avvertibili dal guidatore. È qui che si giocano le prestazioni e la piacevolezza di guida, ed è qui che si fa la differenza, come già mostrato in modo sostanziale dal Common Rail (e il Common Rail li ribadirà il concetto). Evidente anche l'irrobustimento generale richiesto per mantenere l'affidabilità a fronte del sensibile incremento delle prestazioni a tutti i regi-



mi: dal migliore smaltimento calore nelle teste all'ottimizzazione della camera di combustione. Le scuole tecniche sono ancora divise: Fiat e PSA puntano sul basamento in ghisa, Honda e BMW sull'alluminio. Ci sono altre rivoluzioni all'orizzonte? Può darsi che qualcosa si possa ancora fare sul fronte del controllo delle valvole, che governa la turbolenza dell'aria in camera. Ma già ora gli ingredienti tecnologici sul piatto bastano per permettere al Diesel di continuare a migliorare il suo rendimento per molti anni ancora. Del resto è soprattutto colpa sua se gli automobilisti si sono abituati ad essere incontentabili...

Ecco le curve caratteristiche del motore biturbo 2.2 PSA-Ford. In questo caso più che le prestazioni massime si è curata la regolarità di erogazione, evidente dalla linearità delle curve di coppia e potenza. Il cambio a 6 rapporti aiuta a contenere i consumi, anche se ci si aspetta una diffusione crescente dei cambi automatici "intelligenti", che faranno ancora meglio.

Il Fiat JTD TST presenta la classica "spianata" della curva di coppia a 400 Nm, ottenuta per via elettronica non solo per avere un'erogazione più regolare, ma per preservare cambi che sono progettati per non superare questo valore. Notevole la capacità di allungo consentita dalla grande turbina per gli alti regimi.

Sullo stesso basamento, BMW realizza ben tre varianti di potenza: le prime due con turbina a geometria variabile e la terza biturbo, con prestazioni maggiori ma anche una curva di coppia meno piatta.