

IL MOTORE BICILINDRICO A V

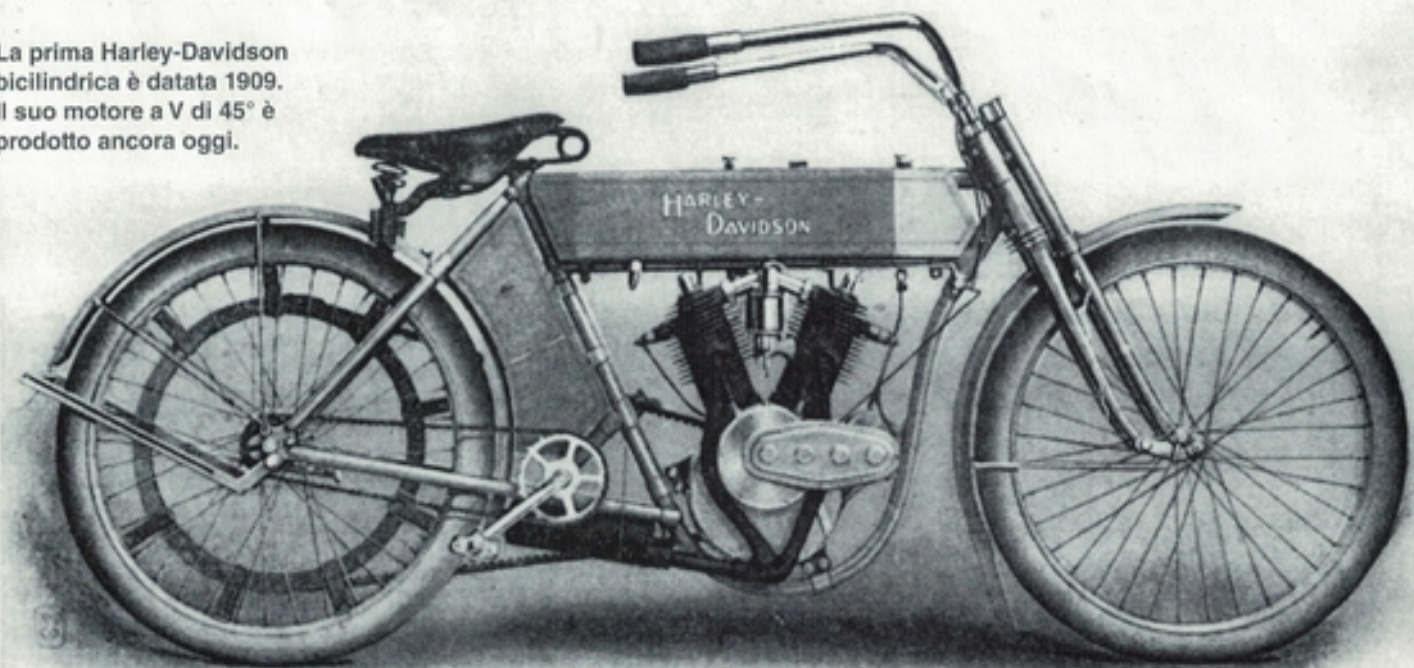
I motori a quattro tempi nascono in Europa alla fine dell'800. Nella loro forma originale sono monocilindrici, ma ben presto, per aumentare le prestazioni, si pensa a raddoppiare il numero di cilindri...

— a cura di Marco Zacchetti —

È noto a tutti che i primi esempi di motociclette fossero di fatto delle robuste biciclette nel cui telaio era stato installato un motore monocilindrico col carter posizionato all'incirca dove in origine era prevista la pedaliera. Una costruzione razionale che proseguì per parecchi anni e la cui evoluzione fu limitata a un generale irrobustimento della struttura, all'applicazione di forcelle elastiche di varia foggia e funzionalità per migliorare la governabilità del mezzo e di comode selle molleggiate per il comfort del conduttore. Per quanto riguarda invece i motori, la loro evoluzione passò attraverso diversi sistemi di distribuzione, alimentazione e accensione, il cui progresso

costante si manifestava in un graduale aumento delle prestazioni, della facilità di utilizzo e dell'affidabilità, vero tallone d'Achille dei motori dei nostri antenati. Ma il primo deciso passo verso un aumento delle prestazioni avvenne quando si pensò a un forte aumento della cilindrata realizzato non semplicemente montando pistoni più grandi e aumentando la corsa di un monocilindrico (si arrivò anche a cilindrata vicine ai 2 litri...), ma raddoppiandolo. Considerando la geometria del telaio, la soluzione più ovvia fu quella di installare su un carter comune, di poco più grande di quello del monocilindrico, due gruppi termici identici, divaricati di un angolo che consentisse di ospitare al centro del V i collettori di aspirazione che confluivano in un unico carburatore. L'albero restava simile a quello del mono, con le due bielle montate sul medesimo bottone di manovella e un diverso dimensionamento delle masse volaniche. Dare le paternità è in questi casi sempre molto rischioso, ma risulta che già nel 1903 l'inglese Princeps AutoCar avesse in catalogo una bicilindrica con motore a V da 4 HP. Normalmente i motori bicilindrici avevano cilindrata doppia del rispettivo monocilindrico e per questo nelle prime competizioni la suddivisione in classi era fatta proprio in base al numero dei cilindri: il primo successo di un certo rilievo di una di queste bicilindriche fu quello della Norton, che vinse il primo TT nel 1907 utilizzando un V2 fornito dalla francese Peugeot. Se inizialmente l'angolo del V era mantenuto piuttosto stretto, tipico quello di 45° introdotto dalla Harley-David-

La prima Harley-Davidson bicilindrica è datata 1909. Il suo motore a V di 45° è prodotto ancora oggi.



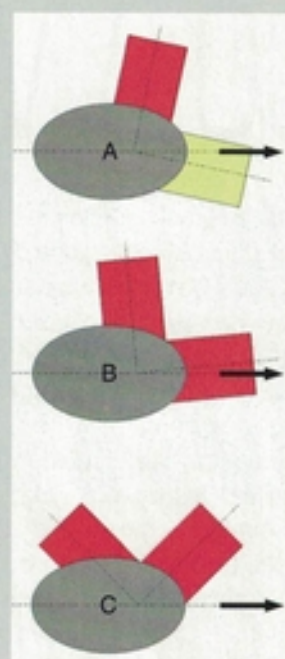


Fig.1. Vista laterale di motore a 4 tempi, V2 di 90°
A: soluzione praticamente improponibile. Rotazione negativa.
B: soluzione con rotazione positiva moderata, denominata 'a L'.
C: soluzione con rotazione positiva limite, pari a 45°.



Schema albero motore per monocilindrico con nomenclatura delle varie parti.

son nel 1909, successivamente gli angoli più diffusi sono stati quello di 60° e soprattutto quello di 90°, che è oggi quello che caratterizza i bicilindrici a V più performanti in circolazione, ovvero i Ducati con distribuzione desmodromica. Per questo tutti gli esempi che seguono fanno riferimento ad un generico motore a quattro tempi a V di 90° con due gruppi termici identici a quello del motore monocilindrico d'origine.

L'idea

Vediamo come idealmente si può passare da un monocilindrico a un bicilindrico a V. Premesso che non è certo possibile modificare un motore esistente creando un alloggiamento nel carter dove 'imbullonare' il nuovo gruppo termico, partiamo dalla classica disposizione col cilindro inclinato in avanti, anche di pochi gradi. In questo caso l'inclinazione del nuovo



Il motore Ducati è un V di 90° disposto col cilindro anteriore quasi orizzontale. Per questo è stato definito 'a L'.

cilindro (Fig.1 - schema A, cilindro giallo), posto a 90° rispetto al primo, genera un primo problema serio. Poiché i segmenti del pistone non hanno tenuta ermetica, quando l'asse di inclinazione del cilindro è inferiore a 0°, ovvero negativo rispetto alla linea orizzontale, è possibile che a motore spento si generi un deflusso di olio dal carter alla camera di combustione. Nei motori a quattro tempi questo effetto è tanto indesiderato quanto dannoso. Meglio prevedere un carter nel quale il primo cilindro è inclinato indietro di quanto basta per portare l'asse del secondo cilindro sopra il livello orizzontale (Fig.1 - schema B). In un motore V2 a 90°, quando l'inclinazione è prossima alla combinazione verticale-orizzontale dei due cilindri, viene spontaneo definirlo 'a L', anche se non propriamente corretto. Fu così che furono battezzati i primi bicilindrici Ducati con distribuzione a coppie coniche che lanciarono la Casa italiana nel mondo delle maximoto e tale termine è rimasto nel linguaggio comune. Lo schema C di Fig.1 rappresenta la massima inclinazione del cilindro posteriore, ovvero 45° indietro. Si tratta di un limite praticamente invalicabile,

poiché diventa oggettivamente difficoltoso realizzare gli spazi per alloggiare gli altri organi del motore, come ad esempio il cambio, e dare adeguato spazio al tubo di scarico.

L'aumento di potenza

L'esperienza nella realizzazione del monocilindrico è estremamente utile nello sviluppo del bicilindrico, al punto che alcuni componenti possono essere identici. Intendiamo ovviamente pistoni, bielle e gli organi della distribuzione, mentre altri, come le testate, possono essere simili dal punto di vista della geometria dei condotti ma diversi nella forma esterna, come ad esempio nei motori raffreddati ad aria, per avere la migliore efficienza dello scambio termico. Ovviamente carter, albero motore e tutti i componenti devono essere dimensionati per le maggiori sollecitazioni indotte dalla maggiore coppia. L'albero motore del tipo scomponibile (utilizzati nei monocilindrici a quattro tempi e in tutti i motori a due tempi) non viene sostanzialmente modificato: basta aumentare la lunghezza dell'asse di accoppiamento tra le spalle dell'albero quel tanto che basta per alloggiare le due bielle affiancate (**Fig.2**). Dal punto di vista della compattezza, l'albero di un V2 è molto più stretto rispetto a quello di un bicilindrico parallelo (**Fig.3**) che per avere lo stesso tipo di supporto di banco richiede l'aggiunta di 1 o 2 cuscinetti posti nella parte centrale. Teoricamente un motore bicilindrico ha potenza circa doppia rispetto al motore unitario e circa doppia è anche la coppia media generata, con la coppia istantanea suddivisa però in due impulsi nell'arco dei 720° in cui avvengono le fasi. Se invece si considera pari la potenza erogata, sul V2 si generano minori vibrazioni torsionali e quindi una maggiore durata di tutte le parti connesse al sistema di trasmissione, dalla primaria fino alla ruota, oltre che gli stessi elementi della ciclistica, come forcellone e telaio.

Le vibrazioni

Nel motore a scoppio, il pistone completo di segmenti, spinotto, cuscinetto, piede di biella (l'occhio più piccolo) e i $2/3$ del fusto della biella, sono considerati massa animata da moto alternato: accelera e decelera, arrestandosi ai punti morti superiore e inferiore. Questi movimenti repentini generano vibrazioni lungo l'asse del cilindro che vengono trasmesse a tutta la struttura della moto (**Fig.5**) e da essa a chi la guida. Per attenuare questo genere di vibrazioni, definite del primo ordine, l'albero motore è dotato di una massa eccentrica: il contrappeso, o volantino o mannaia (**Fig.6**), ha l'effetto di creare una spinta uguale e contraria alla spinta generata dal rallentamento del pistone nei punti morti. L'effetto positivo si ha però solo quando il pistone è in corrispondenza dei due punti morti, superiore e inferiore, mentre in tutte le altre posizioni questa massa eccentrica genera vibrazioni, di cui le normali all'asse del cilindro (dove non è possibile contrappesare nulla) sono le più intense. Posizionando un cilindro lungo l'asse ortogonale al primo cilindro (esattamente a 90° e coincidente con l'asse dell'albero motore come in **Fig.7**), la

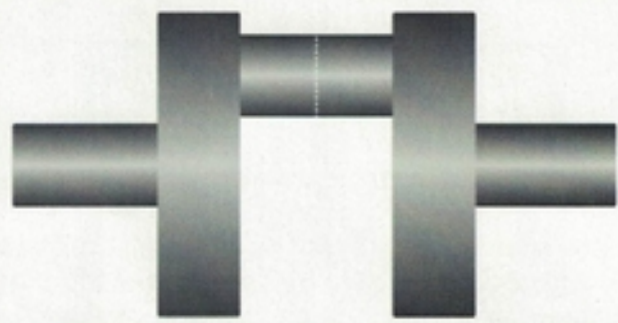
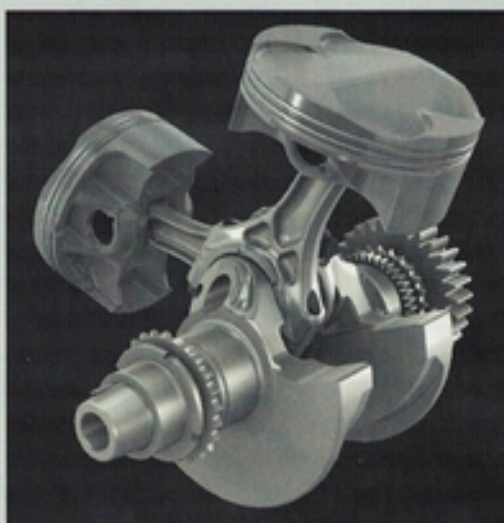


Fig.2. Schema albero motore per bicilindrico a V (4 tempi).



L'imbiellaggio del motore Ducati Panigale, con le due bielle calettate sullo stesso perno di manovella.



Fig.3. Schema albero motore per bicilindrico in linea (2 e 4 tempi con terzo supporto centrale). E' evidente il maggiore ingombro in senso trasversale.



Fig.4. Schema albero motore per un motore bicilindrico boxer o un bicilindrico parallelo con manovelle a 180° .

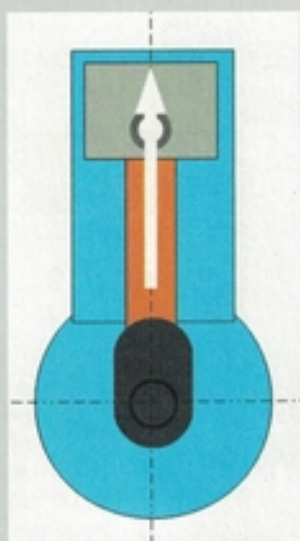


Fig.5. Albero motore di un monocilindrico senza contrappeso. La freccia bianca indica la spinta generata dal pistone in arrivo al punto morto superiore (PMS). Una spinta analoga e contraria si avrà in corrispondenza del punto morto inferiore (PMI). Queste spinte generano una vibrazione coassiale al cilindro.

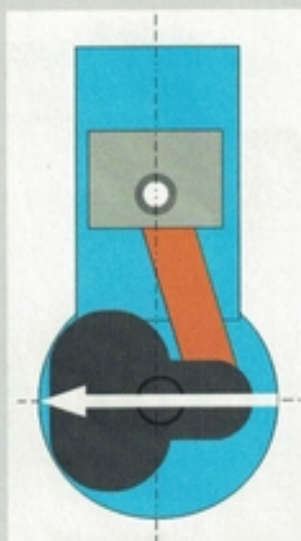


Fig.6. Albero motore di un monocilindrico contrappesato. La freccia bianca indica la spinta generata dal contrappeso dell'albero, a metà corsa del pistone. Una spinta analoga e contraria si avrà in corrispondenza della metà corsa opposta. Queste spinte generano una vibrazione normale al cilindro.

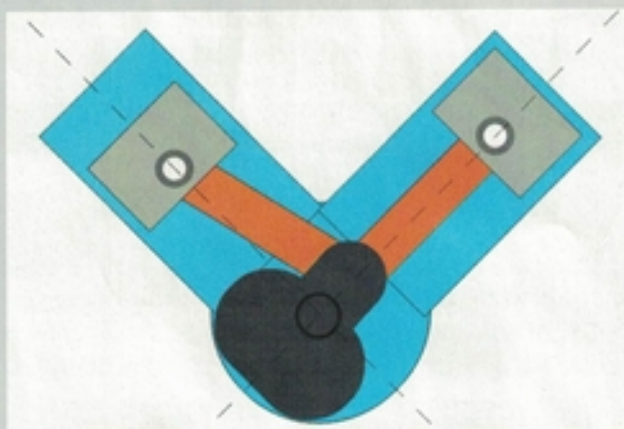


Fig.7. Il contrappeso dell'albero motore viene a sua volta bilanciato dalla massa alterna del secondo cilindro, annullando spinte e vibrazioni.

Fig.9. Le posizioni reciproche dell'albero motore e del contralbero di equilibratura. Da sinistra: punto morto superiore (PMS); metà corsa discendente; punto morto inferiore (PMI); metà corsa ascendente.

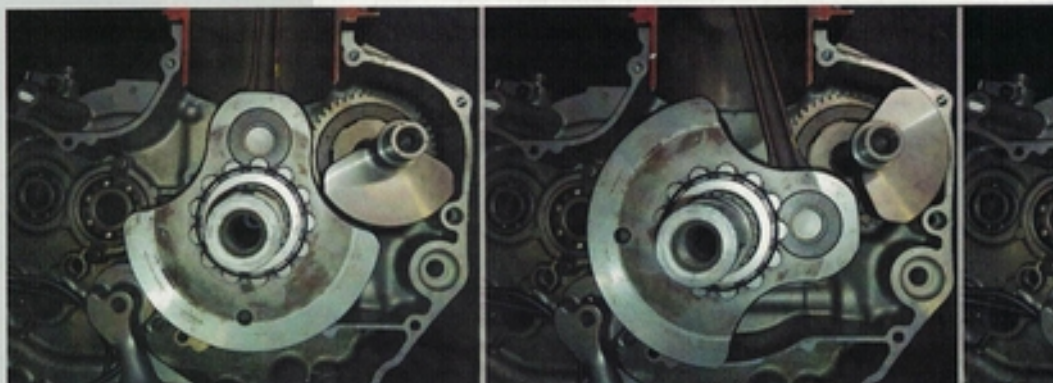
massa alterna del secondo pistone annulla la vibrazione generata dal contrappeso dell'albero motore. Un angolo diverso dai 90° , sia esso minore o maggiore, non offre gli stessi vantaggi sul piano del bilanciamento delle vibrazioni. Nel caso di V2 sopra i 90° ci sono anche problemi legati ai volumi che aumentano e rendono il posizionamento dell'albero motore obbligatoriamente longitudinale, come nel caso della BMW.

Motori a V con angolo diverso dai 90°

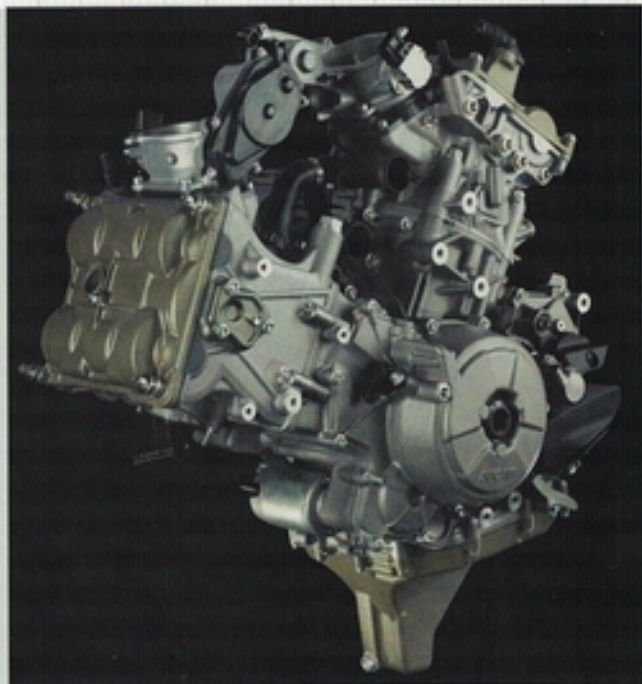
Angoli più stretti, vengono realizzati per compattare il volume del motore, per ravvicinare gli elementi del sistema di alimentazione (carburatori o corpi farfallati) accorciando insieme i condotti di aspirazione, per aumentare la regolarità degli scoppi e quindi diminuire le vibrazioni torsionali. Per contro, le vibrazioni dovute alla mancanza di un elemento di contrasto devono essere contenute entro limiti non dannosi. Si possono usare diversi sistemi, tra cui l'aumento della massa dell'albero motore, la limitazione del numero di giri o la sospensione del motore con elementi antivibranti, tutte soluzioni adatte a motori poco prestanti. Solitamente il montaggio di un contralbero di equilibratura è una soluzione che permette di spingersi verso prestazioni elevate, anche se con una piccola perdita di rendimento meccanico e un consistente aumento dei costi. Il contralbero è un albero con una massa eccentrica che ruota in verso opposto, ma in modo sincrono al moto dell'albero motore. Viene posizionato nelle sue immediate vicinanze e il suo contrappeso spesso passa in mezzo alle spalle dell'albero motore, come si può vedere in **Fig.8**. La massa eccentrica del contralbero si troverà nella stessa posizione di quella dell'albero motore quando il pistone si trova nei due punti morti, ma in direzione opposta quando questo è a metà corsa, come nella sequenza di **Fig.9**, con l'effetto di annullare le vibrazioni.

Questione di scoppi

Come già spiegato, un motore quattro tempi a V nasce da monocilindrico semplicemente aumentando la lunghezza del perno di manovella per ospitare la seconda biella (**Fig.2**). In questo modo la distanza tra gli impulsi generati dai due pistoni è solo funzione dell'angolo tra gli assi dei cilindri, fermo



restando che in ogni cilindro gli scoppi si susseguono ogni quattro corse del pistone, ovvero due giri dell'albero motore, pari a 720° di rotazione. Nel caso di un bicilindrico, per rendere più omogenea la coppia istantanea trasmessa occorre suddividere i 720° in intervalli uguali tra loro. In un bicilindrico parallelo tale situazione si verifica quando i perni di manovella sono posti a 360° , ovvero i due pistoni si muovono all'unisono e quindi avviene uno scoppio ogni giro, alternativamente nei due cilindri ($360^\circ + 360^\circ = 720^\circ$). Un esempio di tale soluzione è il bicilindrico parallelo fronte marcia della Triumph Bonneville, che però, come è facile immaginare, a livello di vibrazioni si comporta come un monocilindrico. Per questo motivo, per renderlo bilanciato è stato previsto un contralbero di equilibratura. Per bilanciare meglio (ma non del tutto) un bicilindrico parallelo senza ricorrere a un contralbero, occorre sfalsare i perni di manovella di 180° . In questo caso, però, si perde la regolarità ciclica, poiché gli scoppi avvengono a intervalli asimmetrici, ovvero a 180° e a 540° ($180^\circ + 540^\circ = 720^\circ$). Da questa configurazione si ricava quella cosiddetta 'boxer', ovvero coi cilindri contrapposti (tipo BMW). Questo tipo di motore è in pratica un bicilindrico parallelo con perni di manovella a 180° coi cilindri ruotati tra loro di 180° (Fig.4). In questo modo l'angolo tra i cilindri viene sommato all'angolo tra i perni di manovella e i due pistoni si trovano contemporaneamente ai punti morti (uno al PMS in fase di scoppio e l'altro al PMS in fase di 'incrocio') ovvero a 360° l'uno dall'altro. Come conseguenza si hanno masse alterne quasi perfettamente bilanciate e una coppia istantanea più omogenea, data l'identica distanza angolare tra gli scoppi dei due cilindri. Tra questi due estremi si pone il bicilindrico a V di 90° come ad esempio quelli della Ducati o della Guzzi, in cui gli intervalli tra gli scoppi sono asimmetrici, ovvero uno avviene dopo 270° ($360^\circ - 90^\circ$) e il successivo dopo 450° ($270^\circ + 450^\circ = 720^\circ$). Questo genera una irregolarità nella coppia trasmessa, ma consente di bilanciare perfettamente le forze del primo ordine. Angoli del V < 90° sono utili anche per aumentare la regolarità ciclica degli scoppi, ma come già detto, generano motori meno equilibrati e richiedono quindi l'applicazione di un contralbero di equilibratura (motori Aprilia con V di 60° e Harley-Davidson con V di 45° ma solo di ultima generazione).



Il motore Ducati TestaStretta rappresenta oggi il pinna-colo tecnico del V2.



Fig.8. Il contralbero di equilibratura passa a pochi millimetri da biella e albero motore.

Conclusioni

Il bicilindrico a V di 90° è un motore semplice e affidabile per natura, è compatto trasversalmente (l'ingombro è di poco superiore a quello di un monocilindrico) ed è ben equilibrato ma, specie nella configurazione 'a L' tipica della Ducati, implica ingombri longitudinali elevati. Angoli del V inferiori creano motori più compatti ma che vibrano e richiedono l'applicazione di contralberi di equilibratura. In ogni caso il V2, un motore che possiamo considerare storico essendo apparso sulle moto fin dall'inizio del secolo scorso, rimane tutt'oggi un'ottima alternativa ai più evoluti pluricilindrici, per l'economicità costruttiva e la versatilità che lo rende adatto all'impiego sia su moto da turismo sia da fuoristrada oppure sportive.

