

# I

Race  
Bike  
Design

# Race Bike Design



*Nel confronto tra le moto Super Bike e quelle da strada si ha, a prima vista, l'impressione che non vi siano differenze sostanziali, ma la somiglianza esteriore nasconde in realtà grandi differenze.*

*Se si guarda il regolamento tecnico delle competizioni, si scopre che è permessa un'ampia gamma di modifiche, che si traducono nella realizzazione di una moto con comportamento, reazioni e prestazioni estreme, domabili solo da un pilota professionista.*

*Scopo della mostra è l'analisi delle caratteristiche di una supersportiva stradale quale la Ducati 996R, e delle modifiche che la trasformano in una vera e propria SBK, attraverso la descrizione dei principi fisici e teorici che stanno alla base delle diverse soluzioni e della loro vincente applicazione nelle moto Ducati, approfondendo lo studio del motore, dell'elettronica e della ciclistica.*



# Ducati: storia di un mito

## Adriano Cavaliere

"EXPERIMENTUM ESSE ESSENTIA RERUM"

Questo potrebbe essere il motto di Adriano Cavaliere Ducati, inventore ed industriale, fondatore, assieme ai fratelli, dell'industria Ducati. Nel 1925 i fratelli Ducati assieme a Carlo Crespi fondarono la Società Scientifica Radio, una piccola società nata per la realizzazione dei condensatori Manenz. L'anno successivo il padre costruisce la Società Scientifica Radio Brevetti Ducati (Spa), per lo sfruttamento dei brevetti intestati ad Adriano.

## Lo Stabilimento a Borgo Panigale 1935

"Avanti al popolo laborioso e fedele delle campagne e delle officine: i fondatori della Società Scientifica Radio Brevetti Ducati posero oggi la prima pietra del loro nuovo stabilimento. Che Iddio benedica sempre la loro attività. 1° giugno 1935".

Queste parole, scritte su di una pergamena racchiusa in un tubo di bronzo, furono inglobate nella prima pietra utilizzata per lo stabilimento di Borgo Panigale. Lo stabilimento originario si sviluppava su di un'area di 120000 m<sup>2</sup> e al suo interno si poteva trovare una serie di servizi che favorivano ed agevolavano la vita delle 11000 persone che vi lavoravano. Economicamente l'industria Ducati attraversava un periodo di grande sviluppo da far diventare la Società la seconda industria italiana.

## La ricostruzione

Gli anni del conflitto mondiale vedono gli uomini Ducati impegnati a decentrare e nascondere presso depositi segreti buona parte dei macchinari e delle linee produttive. Questa rischiosissima operazione salvò buona parte del materiale, ma purtroppo l'ingente bombardamento del 12 ottobre 1944 rase al suolo lo stabilimento di Borgo Panigale. La ricostruzione apparve un'impresa quasi impossibile data l'entità dei danni ma la famiglia non si arrese ed eroicamente vendette tutto ciò che aveva e ricorse al prestito statale.

La ripresa fu immediata e nel 1946 iniziò la produzione su licenza del "Cucciolo", primo prodotto

motociclistico della Ducati, frutto di un accordo con la SIATA di Torino.

## L'arrivo di Taglioni

Ma è dal 1954 che la situazione assume un aspetto più vivace: entra in scena Fabio Taglioni, ingegnere romagnolo che per anni rimarrà il "progettista" della marca bolognese. Grazie all'ingegno acuto e brillante di Taglioni la Ducati sarà negli anni successivi protagonista di molteplici trionfi sportivi e grazie al desmo ed a numerosi motori famosi, nascerà il mito Ducati. Inizialmente Taglioni è impegnato nella realizzazione della monocilindrica GS 100 ma la grande innovazione del grande progettista romagnolo fu un piccolo-grande particolare: il controllo desmodromico della distribuzione che in seguito venne adottato anche sulla produzione di serie, contribuendo a diffondere l'esclusiva raffinatezza della meccanica Ducati.

## Il Desmo

Il termine Desmodromico deriva dal greco, e significa: luogo in cui corre il legame. Nella distribuzione desmodromica due ingranaggi esterni controllano l'apertura delle valvole, mentre l'ingranaggio centrale muove la camma di chiusura. Per rendere appieno il senso e l'utilizzo di tale meccanismo innovativo

riportiamo un breve commento tratto da un'intervista fatta a Taglioni nel 1957: "Lo scopo principale è di obbligare la valvola a seguire fedelmente il diagramma di distribuzione, mentre il risparmio di energia dispersa è pressoché trascurabile. Si ha inoltre una maggior costanza nelle prestazioni ed una sicurezza maggiore di funzionamento."



## L'evoluzione

La fine degli anni Sessanta e l'inizio dei Settanta videro l'ultimo step evolutivo dei motori monocilindrici che continuarono ad essere utilizzati con ben poche modifiche, in corsa come su strada, ma soprattutto l'arrivo delle bicipindriche a "V". Nei primi anni Settanta l'invasione dei mercati mondiali da parte dell'industria giapponese, e delle loro moto di grossa cilindrata, cambiò completamente il panorama produttivo: la moto cessava di essere un veicolo popolare e destinato ad un pubblico che non si poteva permettere l'auto, per diventare un mezzo essenzialmente sportivo, prestazionale e destinato a consumatori appassionati ed abbienti. I bicipindrici a V di 90° longitudinali conobbero immediata gloria sportiva. Alla fine degli anni Settanta fece la comparsa nella gamma la serie Pantah che vantava la distribuzione monoalbero, il sistema desmodromico, mentre il comando della distribuzione avveniva tramite cinghie dentate.

## Gli anni Ottanta e la SBK

Gli anni Ottanta iniziarono nel segno della stagnazione: i grossi motori "coppie coniche" vinsero ancora e anche la serie Pantah si disimpegnò più che bene, ma la proprietà (statale) della Ducati non credeva nella moto. Nel 1985, la Casa passò nelle mani del Gruppo capitanato da fratelli Castiglioni che, da veri appassionati, diedero immediato rilancio alla attività motociclistica. L'avventura della Ducati in SBK cominciò alla fine degli anni Ottanta in Inghilterra sulla pista di Donington. La Ducati in quell'occasione non puntò sul numero ma sulla qualità della sua moto e si presentò nel paddock, tra il meglio delle moto derivate dalla serie, con un solo esemplare. In sella all'851 Marco Lucchinelli ottenne un buon quarto posto nella griglia di partenza: in pochi giri Marco sbaragliò la concorrenza giapponese tranne la Bimota di Tardozzi che vinse così la prima manche. Lucchinelli ebbe tre ore per organizzare le idee e tornare in pista. Si incolò alla ruota del "nemico", ma la resa dei conti fu all'ultimo giro: caddero poche gocce d'acqua. Marco spinse a fondo sull'acceleratore sapendo che nulla poteva accadergli e vide l'avversario schizzare nell'erba, finire in un attimo fuori dal suo campo visivo.

851, una gara, una vittoria. E' il 4 aprile 1988, nasce il mondiale Superbike.



**III****Race  
Bike  
Design**

# Le Ducati SBK

## DUCATI 851 SBK 1987



**MOTORE:** bicilindrico a quattro tempi a V di 90°, raffreddato a liquido. Distribuzione desmodromica bialbero a camme in testa comandata da cinghie dentate, con quattro valvole per cilindro. Alesaggio e corsa 92x64 mm. Cilindrata 850,896 cm<sup>3</sup>. Rapporto di compressione 11,2:1. Alimentazione ad iniezione elettronica indiretta con due iniettori per cilindro. Accensione elettronica transistorizzata. Lubrificazione forzata a carter umido con pompa ad ingranaggi. Avviamento elettrico. **TRASMISSIONE:** primaria ad ingranaggi a denti dritti, finale a catena. Frizione multidisco a secco con comando idraulico e cambio a sei velocità con innesti frontali. **TELAIO:** a traliccio in tubi al cromo molibdeno. Sospensione anteriore Ohlins con steli rovesciati di 42 mm di diametro ed escursione di 100 mm. Sospensione posteriore a forcellone oscillante,

monoammortizzatore con escursione utile di 50 mm. Pneumatico anteriore 120/60-17", posteriore 180/60-17". Freno anteriore a doppio disco di 280 mm di diametro, posteriore a disco singolo di 260 mm.

**DIMENSIONI E PESO:** lunghezza 2060mm, interasse 1460mm. Peso a secco 165 Kg.

**PRESTAZIONI DICHIARATE:** potenza massima 109 CV (80,1 kW) a 9000 giri/

**CAMPIONATI MONDIALI SBK:** 1990 Raymond Roche

## DUCATI 888 SBK 1992

**MOTORE:** bicilindrico a quattro tempi a V di 90°, raffreddato a liquido. Distribuzione desmodromica bialbero a camme in testa comandata da cinghie dentate in gomma, con quattro valvole per cilindro. Alesaggio e corsa 94x64 mm. Cilindrata 888 cm<sup>3</sup>. Rapporto di compressione 11,6:1. Alimentazione ad iniezione elettronica indiretta Weber-Marelli alfa/numerica a quattro iniettori. Accensione elettronica Marelli IAV a scarica induttiva. Lubrificazione forzata a carter umido con pompa ad ingranaggi. Avviamento elettrico. **TRASMISSIONE:** primaria ad ingranaggi a denti dritti, finale a catena. Frizione multidisco a secco con comando idraulico e cambio a sei velocità con innesti frontali. **TELAIO:** a traliccio in tubi al cromo molibdeno con motore parte stressata. Sospensione anteriore Ohlins con steli



rovesciati di 42 mm di diametro. Sospensione posteriore a forcellone oscillante, monoammortizzatore, regolabile con articolazione progressiva. Pneumatico anteriore 120/60-17", posteriore 180/50-17". Freni: anteriore a doppio disco Brembo di 320 mm con pinza a quattro pistoncini, posteriore a disco singolo di 260 mm.

**DIMENSIONI E PESO:** lunghezza 2030mm, interasse 1430mm, altezza sella 760 mm. Il serbatoio del carburante è realizzato in carbonio e Kevlar e ha una capacità di 20 litri. L'avancorsa è di 94 mm, l'inclinazione del canotto di sterzo è di 24° e 5°. Peso a secco 142 Kg.

**PRESTAZIONI DICHIARATE:** potenza massima 140 CV all'albero (133 alla ruota) a 11000 giri/minuto. Velocità massima indicativa 290 Km/h

**CAMPIONATI MONDIALI SBK:** 1991, 1992 Doug Polen

# Le Ducati SBK

## DUCATI 916 SBK 1995



**MOTORE:** bicilindrico a quattro tempi a V di 90°, raffreddato a liquido. Distribuzione desmodromica bialbero a camme in testa comandata da cinghie dentate in gomma, con quattro valvole per cilindro. Alesaggio e corsa 96x66 mm. Cilindrata 955 cm³. Rapporto di compressione 11:1. Alimentazione ad iniezione elettronica indiretta Weber-Marelli. Accensione elettronica Marelli MF3. Lubrificazione forzata a carter umido con pompa ad ingranaggi. Avviamento elettrico.

**TRASMISSIONE:** primaria ad ingranaggi a denti dritti, finale a catena. Frizione multidisco a secco con comando idraulico e cambio a sei velocità con innesti frontali.

**TELAIO:** a traliccio in tubi al cromo molibdeno con motore parte stressata. Sospensione anteriore Ohlins con steli rovesciati di 46 mm di diametro.

Sospensione posteriore regolabile con articolazione progressiva, forcellone oscillante in magnesio. Pneumatico anteriore 120/60-17", posteriore 180/67-17". Freni anteriore a doppio disco Brembo di 320 mm con pinza a quattro pistoncini, posteriore a disco singolo di 200mm.

**DIMENSIONI E PESO:** lunghezza 2050mm, interasse 1410mm. Il serbatoio del carburante è realizzato in carbonio e ha una capacità di 21,5 litri. Peso a secco 148 Kg.

**PRESTAZIONI DICHIARATE:** potenza massima 140 CV all'albero a 12000 giri/minuto. Velocità massima indicativa 300 Km/h.

**CAMPIONATI MONDIALI SBK:** 1994, 1995 Carl Fogarty con motore 916 cm³, 1996 Troy Corser con motore 955 cm³.

## DUCATI 996 SBK

**MOTORE:** bicilindrico a quattro tempi longitudinale a V di 90°, raffreddato a liquido. Distribuzione desmodromica bialbero a camme in testa comandata da cinghie dentate in gomma, con quattro valvole per cilindro. Alesaggio e corsa 98x66 mm. Cilindrata 996 cm³. Rapporto di compressione 12:1. Alimentazione ad iniezione elettronica indiretta Weber-Marelli a tre iniettori e corpi farfallati da 60 mm. Accensione elettronica Marelli MF3. Lubrificazione forzata a carter umido con pompa ad ingranaggi. Avviamento elettrico.

**TRASMISSIONE:** primaria ad ingranaggi a denti dritti, finale a catena. Frizione multidisco a secco con comando idraulico e cambio a sei velocità con innesti frontali.

**TELAIO:** a traliccio in tubi al cromo molibdeno con motore parte stressata. Sospensione anteriore Ohlins con steli rovesciati di 46 mm di diametro e piedini in magnesio. Sospensione posteriore regolabile con articolazione progressiva, forcellone oscillante in magnesio. Pneumatico anteriore 120/60-17", posteriore 180/67-17". Freni anteriore a doppio disco Brembo di 320 mm con pinza a quattro pistoncini, posteriore a disco singolo di 200mm.

**DIMENSIONI E PESO:** lunghezza 2030mm, interasse 1430mm. Il serbatoio del carburante è realizzato in carbonio e ha una capacità di 21,5 litri. Peso a secco 162 Kg.

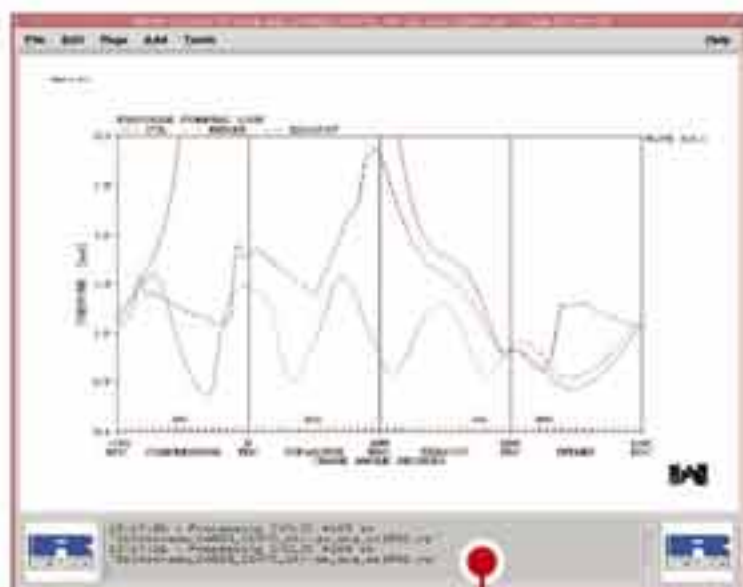
**PRESTAZIONI DICHIARATE:** potenza massima 158 CV all'albero a 12000 giri/minuto. Velocità massima indicativa 300 Km/h.

**CAMPIONATI MONDIALI SBK:** 1998, 1999 Carl Fogarty 2001 Troy Bayliss (motore 998 cm³).



## Il motore

Analizzando l'espressione della potenza ( $P$ ) e di alcune grandezze caratteristiche di un motore a combustione interna si comprende quali siano i parametri su cui agire nella progettazione di un nuovo motore



$$W_u = \eta_c \eta_{ac} \eta_{ad} \eta_l \eta_l \eta_p \eta_e \eta_l \eta_w \frac{\rho_u Z S H_i}{\alpha_c} \frac{u}{T}$$

91	andamento di consumo
92	andamento di crescita
93	Cassa (risorsa)
94	andamento ideale del giro
95	andamento reale del giro
96	andamento delle quote (forse coperti)
97	andamento futuro piano
98	andamento di prodotti
99	andamento rispetto
100	andamento a medio
101	andamento di rendimento
102	andamento relativo (non)
103	andamento di rendimento (non a medio)
104	andamento delle quotazioni (di mercato)
105	andamento economico (non)
106	andamento di costi
107	andamento di un oggetto
108	andamento (risorsa) del consumo
109	andamento reale del piano
110	andamento di serie del tempo

La velocità media del pistone ( $u$ ) è una grandezza indicativa del grado di esasperazione meccanica (inerziale) e fluidodinamica del motore al regime di potenza massima.

$$u = 2 \cdot n \cdot C$$

10. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1033-1038.

Nella tecnica motonistica viene usualmente indicato con il termine di pressione media effettiva (PME) il lavoro utile fornito ad ogni ciclo per unità di cilindrata.

$$PME = \frac{W_u T}{ZS_u}$$

Questo valore sintetizza indicativamente i livelli di pressione raggiunti nel cilindro, cioè le sollecitazioni a cui è sottoposto il motore e soprattutto il suo grado di riempimento

La potenza specifica areale (PSA) è una grandezza grossolanamente proporzionale ai flussi termici che attraversano le pareti del cilindro e quindi ai salti termici a cui sono soggette. Questa grandezza è indice delle tensioni termiche a cui sono soggette le pareti della

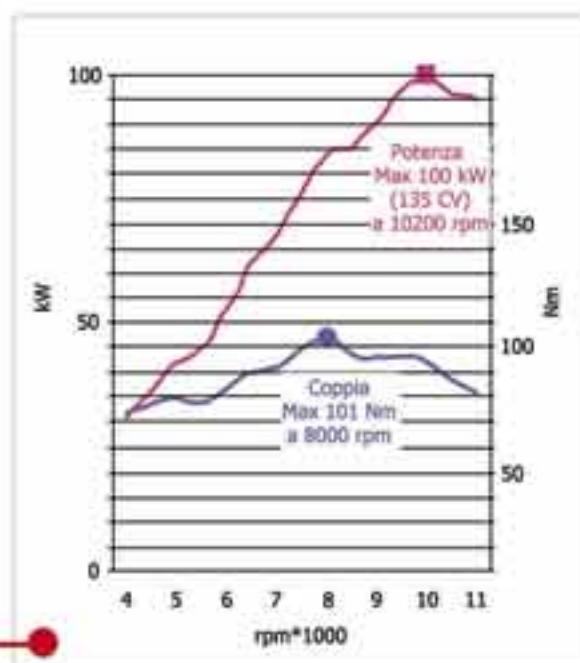
$$PSA = \frac{W}{ZS} = PME \frac{u}{T}$$

camera di combustione, il cielo dei pistoni e i ponticelli tra le sedi valvole; riassume il valore della FME e della  $u$  nel grado di esasperazione globale del motore.

La densità globale è data dal rapporto tra la massa del motore e la sua cilindrata ed è indice della "bontà meccanica" del propulsore; se il valore è basso il motore ha un elevato rapporto vuoto/pieno oppure è costruito con materiali sofisticati.

*Se prendiamo in considerazione motori con le stesse sollecitazioni pressorie (PME) e inerziali ( $u$ ) si può vedere che la potenza massima è proporzionale solo alla superficie totale degli stantuffi che può essere scomposta in due parametri che determinano l'architettura del motore:*

- rapporto corsa alesaggio (C/D)
- numero dei cilindri (Z)



$$W_s = \sqrt{\left(\frac{V_L}{C/D}\right)^2 Z}$$

$$V_i = \text{cilindrata totale}$$

La potenza massima aumenta quindi per frazionamenti elevati e basso rapporto C/D.

[illegible]

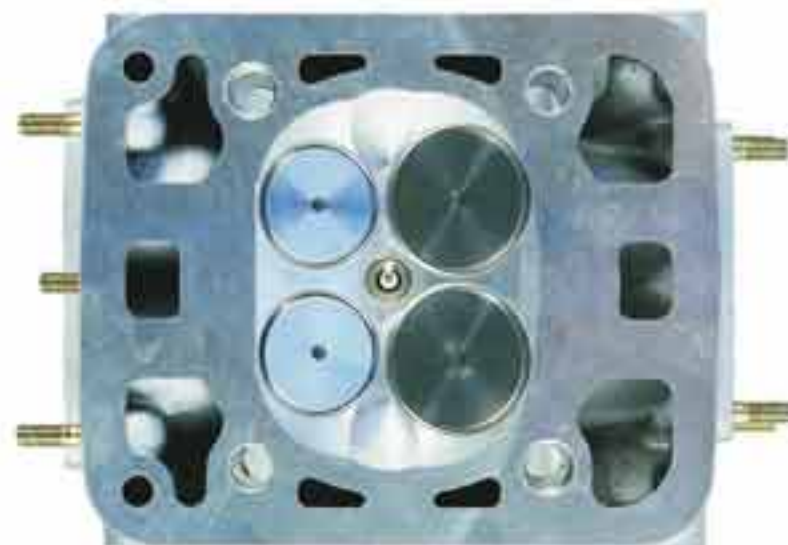
# La camera di combustione

In generale un motore con basso C/D fornisce la potenza massima ad un regime di rotazione superiore.

All'aumentare del numero di giri occorre aumentare l'anticipo di accensione per evitare che la combustione prosegua troppo oltre il PMS con conseguente diminuzione del rendimento e della PME. Inoltre un alesaggio elevato implica un aumento della massa del pistone e quindi delle forze alternate d'inerzia, a scapito della massima velocità media del pistone. Quindi all'aumentare dell'alesaggio la  $u$  e la PME non rimangono costanti perciò l'aumento di potenza sarà inferiore a quello previsto.

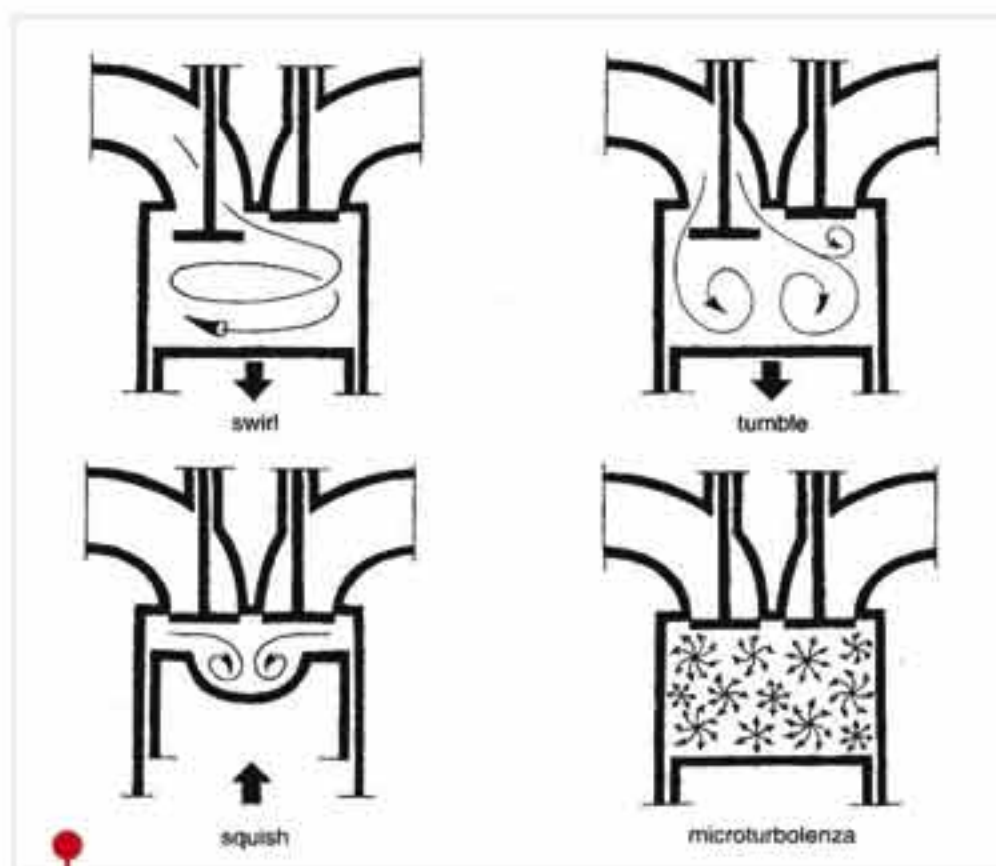
Il limite inferiore del rapporto corsa/alesaggio è legato alle esigenze della combustione, all'aumento delle perdite termiche e alla difficoltà di ottenere elevati rapporti di compressione.

Infatti la testata è stata interamente ridisegnata sia nella struttura portante che nella disposizione degli organi interni per creare una camera di combustione compatta e raccolta attorno alla candela per non vanificare l'incremento di potenza dato dalla riduzione di C/D con una cattiva combustione, limitare il fenomeno della detonazione e supportare ulteriori aumenti di alesaggio.



Le due camere di combustione hanno una conformazione "a tetto" con candela centrale. Con la riduzione dell'angolo tra gli assi delle valvole, la nuova camera (in basso) è diventata più compatta.

Lo *swirl* si ottiene disegnando dei condotti che immettono l'aria in direzione tangenziale al cilindro. Il *thumble* si ottiene con dei condotti capaci di immettere l'aria trasversalmente all'asse del cilindro. Lo *squish* si ottiene concentrando il volume della camera di combustione in un'unica zona compatta; si instaura nell'ultima fase di salita e nella prima di discesa dello stantuffo nella fase di compressione generando un vortice toroidale. La *microturbolenza* è costituita da un fluido globalmente fermo ma dotato di una forte agitazione locale.



Un ulteriore parametro che influenza la combustione è la intensità di turbolenza della miscela in camera di scoppio da cui dipende il grado di omogeneizzazione della miscela aria-benzina, la velocità di propagazione del fronte di fiamma e la limitazione dell'anticipo d'accensione all'aumentare del numero di giri.

La turbolenza è costituita da ampie zone di fluido dotate di un moto organizzato scomponibile in tre vortici principali che possono essere generati con intensità controllabile tramite opportune forme dei condotti.

In generale per ottenere turbolenze aggiuntive rispetto a quelle naturali corrispondenti a un condotto disegnato per il miglior riempimento si ha un calo del rendimento volumetrico dovuto alla spesa di energia del fluido per generare i vortici.



# La distribuzione desmodromica

Nel sistema desmodromico l'intera legge di alzata della valvola è comandata in modo rigidamente meccanico senza ricorso a molle di richiamo.

Gli assorbimenti di potenza a regime massimo dipendono dagli schemi meccanici di distribuzione a confronto e dal tipo di curva di accelerazione negativa, rimane comunque a favore del desmo la minor potenza dissipata ai regimi inferiori.

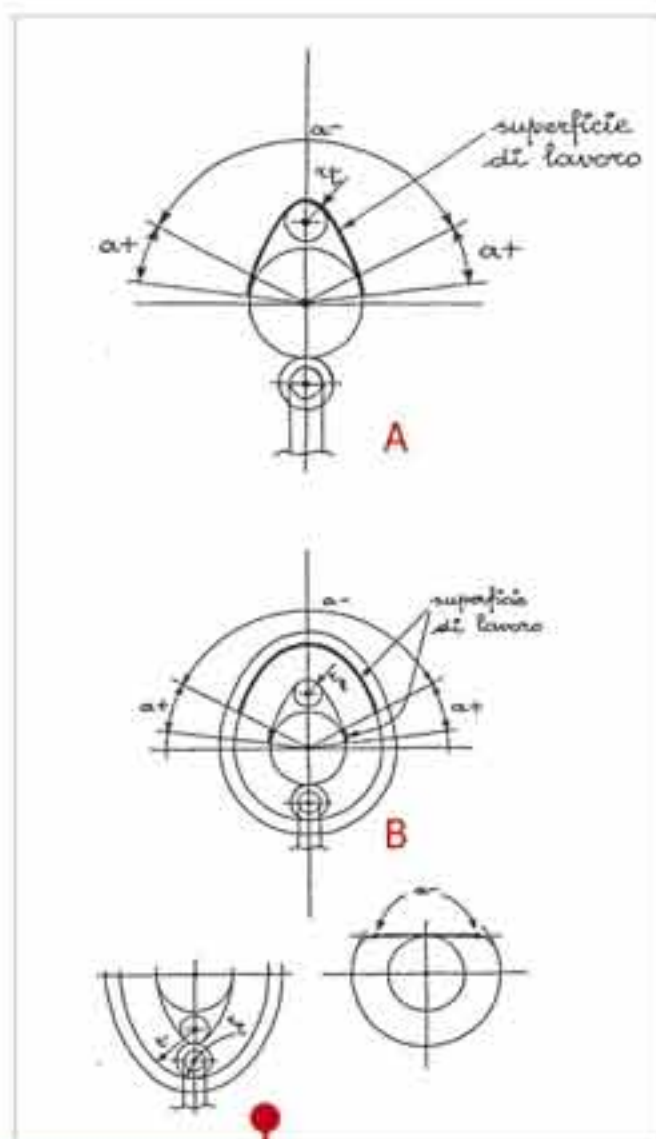
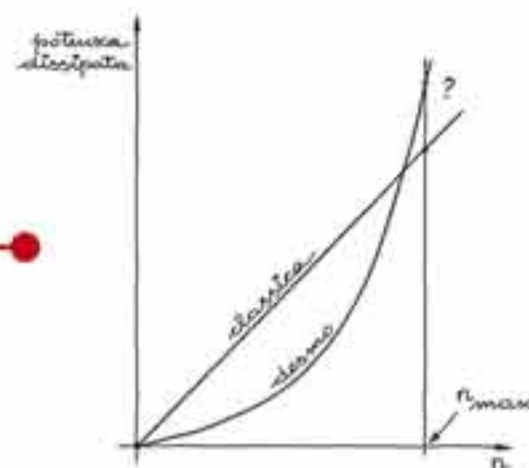


Dal punto di vista fluidodinamico, inoltre, sono desiderabili fasature "strette" e con forti alzate che comportano forti accelerazioni e piccoli raggi di curvatura di testa della camma.

Nel caso della distribuzione classica, dove la punteria è premuta dalla molla contro la camma sia nella fase di accelerazione positiva che negativa, si generano elevate pressioni Hertziane sulla superficie di testa della camma.

Da anni Ducati adotta per i propri motori una distribuzione di tipo desmodromico dove l'intera legge di alzata delle valvole è comandata in modo rigidamente meccanico, senza perciò fare ricorso a molle di richiamo.

La potenza assorbita dalla distribuzione a molle varia, grosso modo, linearmente con il numero di giri mentre nel "desmo" col cubo. Poiché nel caso di fasature "squadrate", come nel caso di moto supersportive, i due tipi di distribuzione assorbono la stessa potenza ai regimi massimi, il desmodromico risulta vantaggioso per tutti i regimi inferiori. Infatti nel caso di fasature "spinte" la distribuzione tradizionale, per evitare i problemi di sfarfallamento valvola-cammina, costringe ad adottare molle molto rigide che assorbono più potenza.



Nella distribuzione classica (A) la punteria è sempre premuta dalla molla contro la camma sia nelle fasi di accelerazione positiva ( $a^+$ ) che negativa ( $a^-$ ). Nel desmo (B) la punteria è premuta contro la camma solo nelle fasi di accelerazione positiva, in quella negativa la punteria cambia sede di appoggio premendo sulla contro-cammina.

Specialmente ai bassi regimi, quando la forza delle molle è poco compensata dalle inerzie e le basse velocità di strisciamento non consentono la formazione di un sufficiente velo d'olio tra camma e punteria, si può avere un danneggiamento.

Nel desmo, invece, la punteria è premuta contro la camma solo nelle fasi di accelerazione positiva e cambia sede di appoggio nelle fasi di accelerazione negativa andando a premere sulla contro-cammina ed evitando la zona critica della cammina di apertura.

Un altro vantaggio del desmodromico è l'eliminazione del sistema vibrante massa-molla, costituito dall'equipaggio mobile (valvola e bilanciere o bicchierino) e dalle molle.



# Il desmo Ducati

Nel nuovo desmo (a destra), con l'angolo tra le valvole ridotto a 25°, il perno del bilanciere di apertura è stato spostato all'esterno, mentre quello del bilanciere di chiusura è rimasto all'interno.

Nel sistema desmodromico della Ducati ogni coppia di valvole (due di aspirazione e due di scarico) è comandata da un albero a camme su ciascuna valvola agiscono un bilanciere "a dito", che regola l'apertura, ed un bilanciere "a L" che regola la chiusura, ciascuno comandato da una camma. Col passaggio dal 996 al 998 "testastretta" tutto il cinematisma è stato riprogettato: sono stati spostati i centri di rotazione dei bilancieri in modo da poter incrementare le accelerazioni massime ottenibili dal meccanismo e minimizzare le forze ed i momenti agenti sugli organi meccanici.



Nella nuova testata (sotto), il minor spazio a disposizione ha costretto i progettisti ad utilizzare il manicotto in acciaio fucinato centrale sul quale sono state ricavate le sedi cieche per il perno del bilanciere di chiusura.

L'angolo tra le valvole è passato da 40° a 25° rispetto all'asse del cilindro (13° per l'aspirazione e 12° per lo scarico) per ottimizzare la forma della camera di combustione in funzione dell'aumento di alesaggio.

Lo spazio a disposizione tra gli assi delle valvole si è ridotto e per mantenere la candela centrale è stato spostato il bilanciere di apertura all'esterno mentre quello di chiusura viene montato su perni adagiati in fori ciechi, ricavati su un manicotto di acciaio fucinato che, posto centralmente, svolge anche la funzione di centraggio e passaggio per il vano candela.

Anche il percorso della cinghia di distribuzione è stato ottimizzato, riposizionando le pulegge folli e aumentandone il diametro, per diminuire le oscillazioni dovute al maggiore regime di rotazione.

Le pulegge trascinate dalla cinghia sono ora centrate su un manicotto di acciaio con una battuta fissata all'estremità dell'asse a camme e sono tenute in posizione da tre viti; tramite fori asolati sulle pulegge è possibile la regolazione fine della messa in fase senza dover smontare la cinghia di distribuzione.

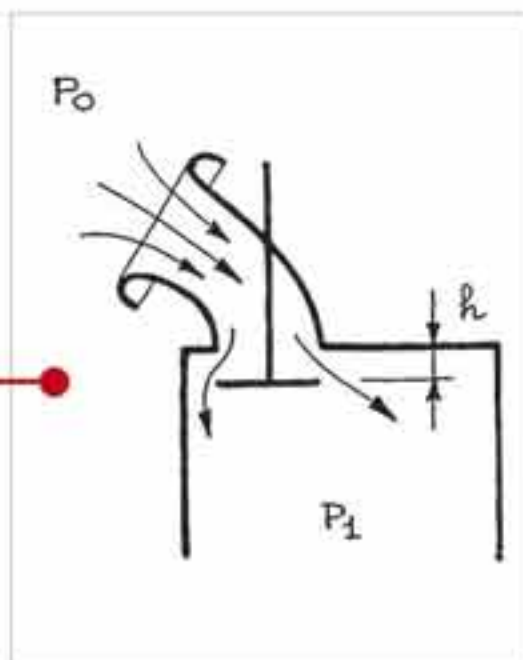


Le cinghie della distribuzione sono larghe 21 mm e hanno nuovi galoppini per migliorarne il funzionamento. Le pulegge sono calettate ai rispettivi assi a camme mediante tre asole e sono serrate in posizione con altrettante viti.



# I coefficienti di efflusso

Questo schema rappresenta la disposizione tipica di un banco di flussaggio per isolare e studiare separatamente le proprietà aerodinamiche della sola valvola.



Uno dei parametri che meglio aiuta a capire la capacità di aspirare aria del motore è il coefficiente di efflusso della valvola. Questo è dato dal rapporto tra portata reale di fluido passante attraverso l'area liberata dallo spostamento della valvola e la portata ideale di aria che potrebbe aspirare il motore. Per dati valori del salto di pressione a monte e a valle della valvola e dell'alzata, il coefficiente vale:

$$C_e = G_r / G_i$$

La portata reale si misura sperimentalmente, mentre per il calcolo della portata ideale si usa un'area di riferimento  $A_i$  che può essere scelta seguendo diversi criteri, visto che entrambe le portate sono proporzionali questa area (una delle più usate è la così detta "cortina").



Elevate aree effettive di passaggio si possono ottenere con valvole di grande diametro a scapito del coefficiente di efflusso.



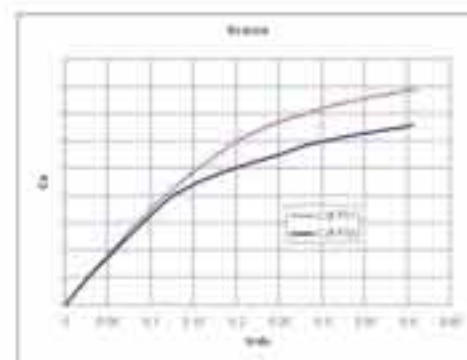
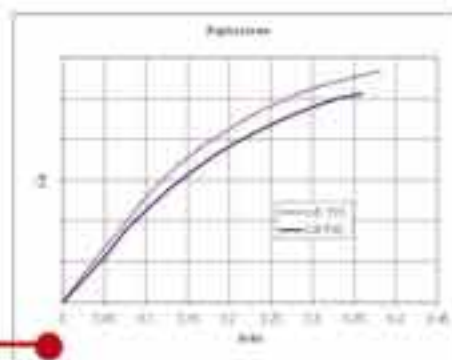
Definizione dell'area di riferimento detta "cortina", area anulare tronco-conica determinata dall'alzata e dal diametro della valvola.

Tramite l'area di riferimento si può calcolare così una area effettiva ( $A_e$ ) che è la vera grandezza significativa per valutare l'efficienza di una valvola agli effetti della "respirazione" del motore.

$$A_e = C_e A_i$$

Osservando la formula è immediato capire che un'alta area effettiva si può ottenere sia adottando valvole grandi che presentano però un basso coefficiente di efflusso, sia con il processo opposto. Non è detto quindi che la scelta più oculata sia sempre adottare valvole con le dimensioni massime permesse dalla grandezza del cilindro, infatti con valvole più piccole la perdita connessa al restringimento dell'area di passaggio può essere sovra-compensata dal miglioramento del coefficiente di efflusso derivante dal minore disturbo aerodinamico originato dalle pareti del cilindro e dalle valvole stesse al flusso di gas.

L'aumento di alesaggio ha permesso di utilizzare valvole più grandi aumentando l'area di passaggio teorica, a scapito di un maggior disturbo aerodinamico del fluido in ingresso nel cilindro, perché vi è comunque un maggior sfruttamento della superficie della camera di combustione da parte delle valvole.



$C_e$  =  $C_e$ : coefficiente di efflusso espresso in base alle relative aree di passaggio  
H/dv: alzata valvola adimensionalizzata sul diametro

Nonostante il maggiore diametro delle valvole si è ottenuto comunque un aumento del coefficiente di efflusso, dovuto al miglioramento dell'aerodinamica dei condotti.

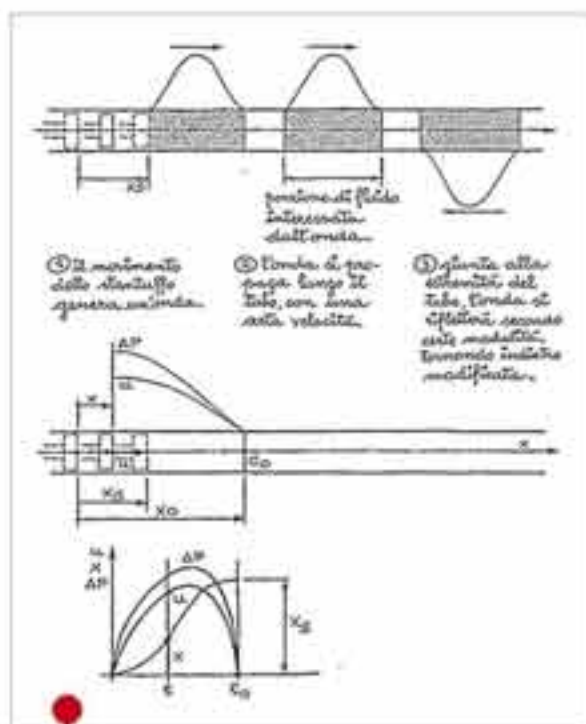
	998 (100x63.5)			996 (98x66)		
	strada	pista	aumento	strada	pista	aumento
diámetro valvola aspirazione	40	42	5%	36	39	8.3%
diámetro valvola scarico	33	34	3%	30	33	10%
coefficiente di sfruttamento	0.54	0.58	7.4%	0.48	0.54	17.4%

Come si può vedere dalla tabella la versione da pista del 996 ha uno sfruttamento superiore del 17.4% rispetto alla versione da strada mentre nel 998 solo un aumento del 7.4% per evitare un eccessivo decadimento del coefficiente di efflusso.

Coeficiente di sfruttamento: Superficie totale valvole/superficie d'aspirazione



# La propagazione delle onde



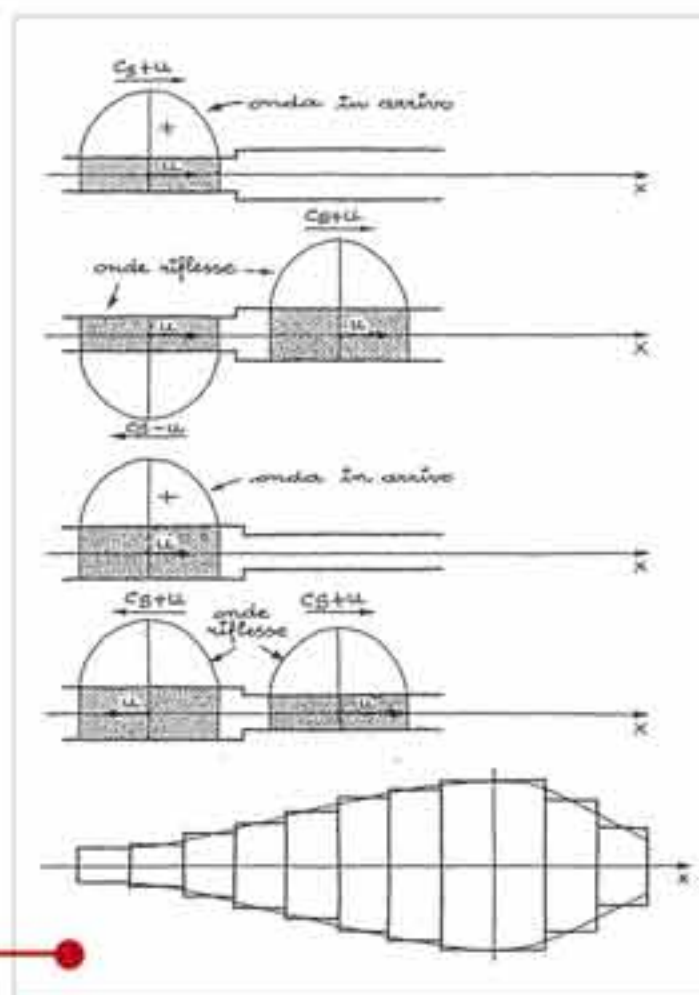
Se imprimiamo allo stantuffo un rapido movimento ( $X_s$ ) si genera un'onda nel fluido contenuto nel tubo che si propaga mantenendosi uguale a se stessa. Questo tipo di onda, detta progressiva, è quella di maggiore interesse motoristico.

Se l'estremità del condotto è aperta l'onda si riflette nel modo seguente:

- la velocità  $u$  allo sbocco del condotto raddoppia
- allo sbocco si annulla la sovrappressione (o depressione) quindi la pressione sarà pari a quella dell'ambiente di uscita
- l'onda risale all'indietro il condotto e cambia segno (onda di sovrappressione si trasforma in onda di depressione e viceversa)

Se l'estremità del condotto è chiusa l'onda si riflette nel modo seguente:

- la velocità  $u$  dalla chiusura del condotto si annulla
- la sovrappressione (o depressione) cresce
- l'onda risale all'indietro il tubo e conserva il segno (es. onda di sovrappressione rimane tale)



Particolarmente importante è la riflessione all'estremità dei condotti di aspirazione ("trombetta") la cui forma ottimale è determinata da questo fenomeno.

Nel caso in cui l'onda incontri una variazione di sezione del condotto questa si sdoppia in due onde. La prima, detta "onda riflessa", torna indietro nel condotto, la seconda, detta "onda trasmessa", prosegue nel condotto la sua corsa. Diversa sarà la natura di queste onde a seconda del tipo di variazione del condotto.

con un restringimento ambedue le onde hanno lo stesso segno di quella iniziale rispetto alla quale la riflessa ha modulo minore e la trasmessa modulo maggiore.

con un allargamento l'onda trasmessa ha stesso segno e modulo minore di quella iniziale, mentre la riflessa ha segno opposto e modulo minore.



# Aspirazione e scarico

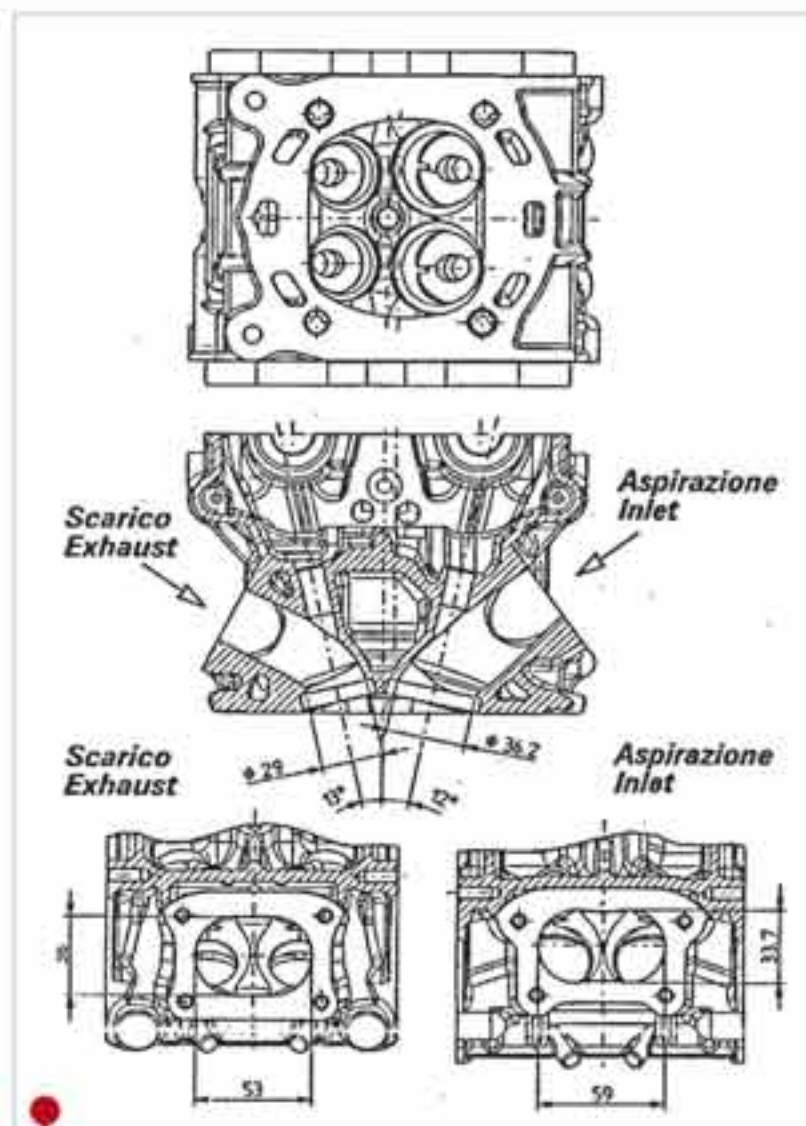
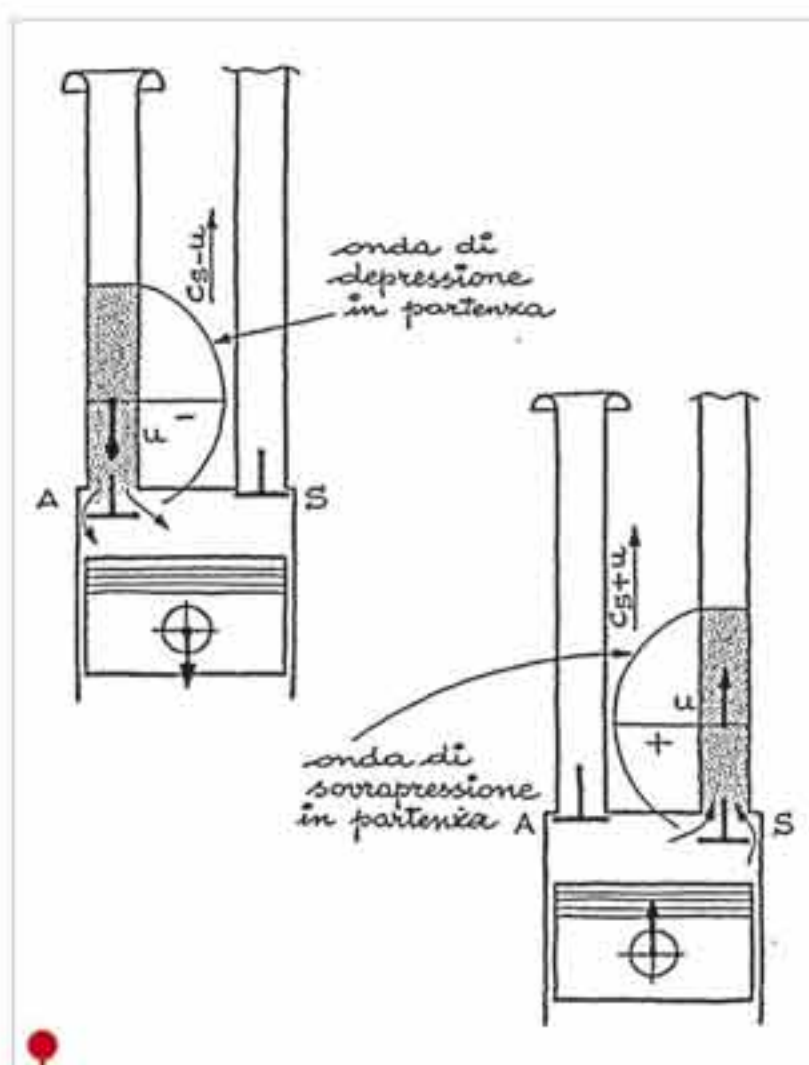
Questi fenomeni vanno ad interessare sia i condotti di aspirazione che quelli di scarico e si sfruttano i loro effetti per migliorare il funzionamento del motore.

**Condotto di aspirazione:** nella fase di aspirazione il moto discendente del pistone genera nella parte iniziale del condotto dove è posta la valvola un'onda di depressione. Questa onda risale il condotto fino all'altra estremità aperta e vi si riflette trasformandosi in un'onda di sovrappressione che tornando indietro contribuisce a spingere l'aria, così compressa, dentro il cilindro. Si ottiene così una sovralimentazione dinamica.

**Condotto di scarico:** nella fase di scarico l'espulsione dei gas e la risalita del pistone generano subito dietro alla valvola un'onda di sovrappressione. Questa onda percorre il condotto fino all'estremità aperta e vi si riflette trasformandosi in un'onda di depressione. Se questa onda giunge alle valvole durante la fase d'incrocio (quando sono semiaperte sia le valvole di aspirazione che di scarico) favorisce il lavaggio della camera di combustione, la riaspirazione dei gas di scarico entrati nel condotto di aspirazione durante l'incrocio e il pre-avviamento dell'onda di aspirazione.

Testate con alcune quote caratteristiche: entrambi i condotti di aspirazione e scarico si uniscono e comunicano con l'esterno attraverso un'unica luce alla quale è collegato il collettore fissato con quattro viti.

Lo stantuffo imprime allo stato fluido del tubo un impulso di velocità generando onde. Per il condotto di aspirazione l'onda generata è di depressione, mentre per quella di scarico è di sovrappressione. Le onde, giunte all'estremità dei condotti si riflettono.



Affinché gli effetti utili della propagazione delle onde siano massimizzati è importante che le stesse onde partano e arrivino nei posti giusti al momento giusto. Per far sì che questo avvenga si agisce sulle lunghezze dei condotti stessi e sulla fasatura. Siccome il regime di rotazione del motore influisce sulla velocità delle onde, a meno che non si usino condotti a lunghezza variabile, la massimizzazione di questi fenomeni avviene solamente all'interno di un ristretto campo di funzionamento del motore.

Al di fuori di questo campo il motore funzionerà "mediamente bene", fatta eccezione per un regime particolare al quale si avrà un "effetto di antirisonanza" che porterà al quasi totale annullamento delle onde nei condotti e quindi ad un netto calo di prestazioni del motore stesso.

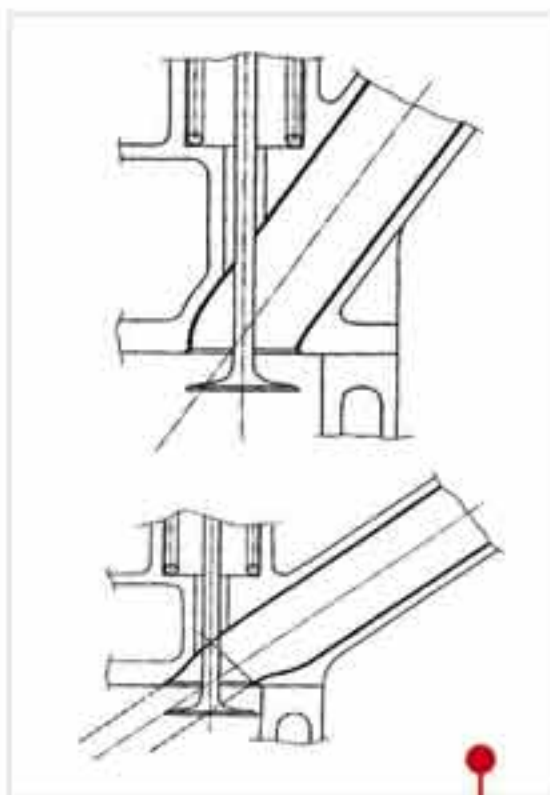


# Tracciamento dei condotti

La scelta del tipo di tracciamento dell'andamento dei condotti oscilla tra i due casi estremi.

Il primo tracciamento cerca di mantenere il condotto il più dritto possibile per far arrivare il flusso il più simmetricamente possibile sulla valvola, così da poter sfruttare la sua massima area di cortina. Il problema di questo tracciamento è che il flusso incontra quasi ortogonalmente il piattello della valvola e ne viene deviato bruscamente. Questo comporta una riduzione del coefficiente di efflusso e del tumble.

Il secondo tracciamento arriva molto inclinato rispetto alla valvola; questo permette di utilizzare solo metà dell'area di cortina, ma porta anche ad avere un ottimo coefficiente di efflusso, visto il piccolo angolo di impatto tra flusso e piattello della valvola. (In questo condotto l'asse può essere al limite perfettamente rettilineo, si crea alta turbolenza di tumble ed è sufficiente una valvola più corta e leggera perché viene subito scansata dal fluido; inoltre la testa del motore può risultare più bassa).



Schemi delle due opposte filosofie di disegno dei condotti. Il primo mira al massimo sfruttamento dell'area di cortina ma comporta una forte azione frenante causata dal piattello della valvola. Il secondo tende ad utilizzare al meglio solo una metà dell'area di cortina ma con il massimo coefficiente di efflusso, sfruttando un condotto più obliquo rispetto alla valvola.

I due condotti ora convergono in un'unica bocca, alla quale è stato collegato il tubo di scarico.



La maggiore novità del Ducati "testastretta" è nella testa (in basso) con angolo tra le valvole ridotto a 25° e condotti ad andamento più rettilineo. Si può inoltre notare come la parte superiore sia ora separata con i supporti degli assi a camme ricavati direttamente dalla fusione.

L'angolo di inclinazione dei condotti è una conseguenza dell'angolo di inclinazione delle valvole ed esiste un angolo ottimale tra asse valvola e asse condotto che ottimizza il coefficiente di efflusso e lo sfruttamento dell'area di cortina; l'angolo adottato è sempre un compromesso tra l'ottimizzazione fluidodinamica e l'ingombro in altezza della testa (più è stretto l'angolo tra asse valvola e asse condotto e più aumenta l'altezza della testa).

L'ottimizzazione della posizione degli organi di distribuzione ha permesso di realizzare condotti più corti e rettilinei con inclinazione più vicina all'angolo valvole rispetto al 996, quindi minori perdite di carico; mentre la riduzione del tumble non è problematica perché nei motori con corsa corta esso fatica ad instaurarsi e quindi in motori ad alte prestazioni l'unico moto che si genera in abbondanza è lo squish nella parte finale della compressione, dato che il moto di swirl non è presente nei motori a 4 valvole.

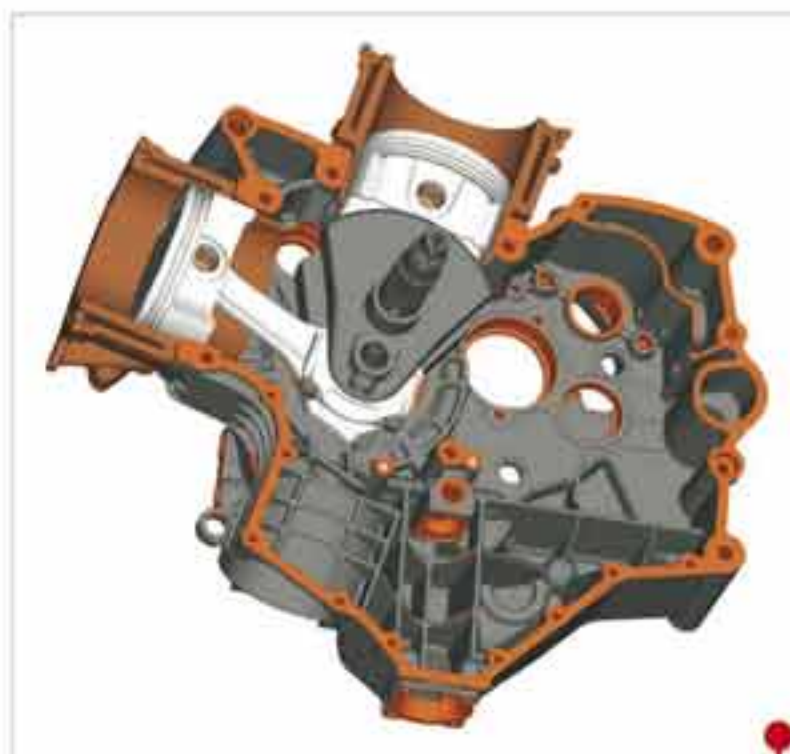


# Il carter

Grazie alla semplice architettura del bicilindrico a "L" il basamento è costituito da due semicarter separati da un piano verticale e includono anche la coppa dell'olio, mentre i cilindri sono separati dal basamento e hanno la canna ricavata da fusione con riporto superficiale al nichel-silicio.

Per il nuovo motore 998 è stato riprogettato anche il basamento per tre motivi principali:

- 1) migliorare il rapporto alesaggio corsa: il basamento 996 non consentiva ulteriori aumenti di alesaggio senza interferire con le sedi dei prigionieri che collegano teste e cilindri.
- 2) necessità di avere carter fusi in terra perché non contengono porosità, hanno una struttura più uniforme del materiale e si possono effettuare trattamenti termici: la bonifica per aumentarne la resistenza meccanica e un eventuale trattamento per migliorare la resistenza a fatica.
- 3) migliorare la forma della coppa dell'olio e la posizione della pompa.



Semicarter destro: la protuberanza inferiore che serve da pozzetto per il pescaggio della pompa dell'olio è una modifica suggerita dall'esperienza del reparto corse.

Il nuovo cilindro (in basso) in lega leggera con riporto al Nickasil, che è identico per entrambe le unità termiche. Si notano i passaggi per il liquido refrigerante di dimensioni più contenute e le ampie superfici di appoggio.



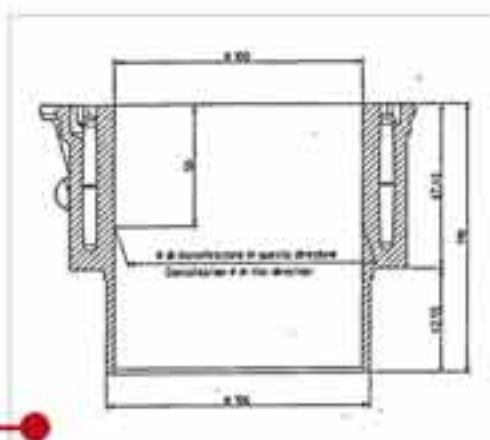
I nuovi carter motore denominati "coppa bassa" devono l'appellativo ad un'appendice nella parte inferiore nella quale è stato ricavato una sorta di pozzetto per l'olio dove si immette il pescante della pompa di lubrificazione che in questo modo si trova sempre parzialmente immerso indipendentemente dalle condizioni di assetto della motocicletta. Inoltre il pozzetto raccoglie una buona quantità d'olio in una zona meno disturbata distante dagli organi in movimento e diminuiscono anche le perdite causate dallo sbattimento agli elevati regimi di rotazione che si raggiungono delle moto da corsa. Ora il pre-filtro a reticella è posto in posizione verticale ed ha maggiore superficie filtrante per diminuire le perdite di carico all'aspirazione. I condotti di

Vista in sezione della parte bassa del carter dove si può osservare la posizione, ora verticale, del filtro a reticella della pompa dell'olio e la cartuccia filtrante del circuito di lubrificazione. L'andamento del tubo di scarico del cilindro anteriore è stato modificato per fare spazio al pozzetto.

lubrificazione hanno subito solo una serie di affinamenti per ottimizzare il flusso di lubrificante ai vari componenti, diminuire le perdite di carico ed aumentare l'efficienza della pompa ad ingranaggi, la cui cilindrata è rimasta invariata.

Sia le teste che i cilindri hanno subito un evidente dimagrimento dovuto alla riduzione dei passaggi del fluido lubrificante, sovradimensionati nella versione 996, per consentire un aumento generale delle superfici di accoppiamento tra testa e cilindro.

I supporti degli assi a camme sono ricavati direttamente nell'alluminio della testata e completati da cavallotti avvitati riducendo l'ingombro rispetto ai precedenti cuscinetti a rotolamento.

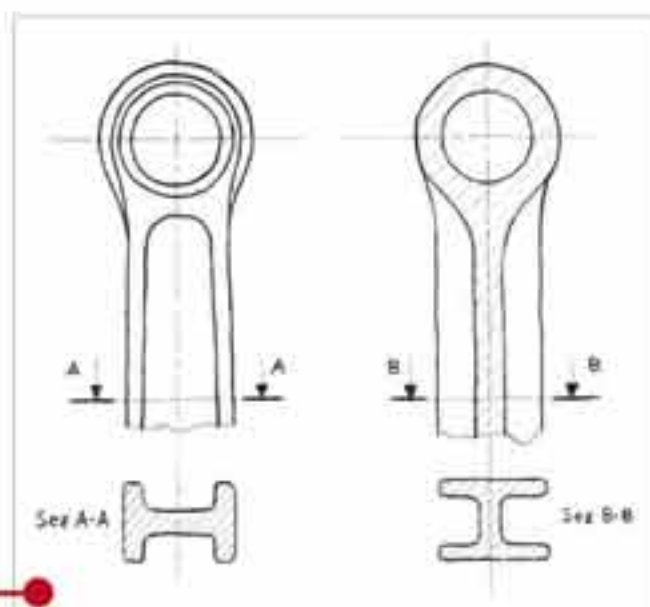


Sezione del cilindro: l'ampia parte guidata dal carter motore permette dimensioni esterne molto compatte.



# Il manovellismo di spinta

Le bielle ad H "rovesciata" minimizzano le concentrazioni di tensioni nella zona tra piede e fusto, sono quindi preferite per i motori ad alte prestazioni nonostante l'elevato costo.



La biella è un elemento altamente sollecitato in quanto trasferisce alla manovella le forze di combustione e quelle d'inerzia e quindi deve essere contemporaneamente leggera e resistente; per questo motivo nei motori da competizione è solitamente realizzata in acciaio alto-legato o in titanio.

Solitamente la sezione del fusto è a "doppio T" che offre un alto modulo di resistenza a flessione e può essere ottenuta facilmente per stampaggio. Nei motori da corsa invece assume la forma di "H rovesciata" per minimizzare la concentrazione delle tensioni nella zona di transizione tra piede e fusto; questa forma si ottiene solo per asportazione di truciolo e quindi è molto costosa ma si ha anche un controllo esatto del peso della biella.

Il nuovo albero motore (in basso) ha la corsa ridotta da 66 mm a 63.5 mm e un diverso sistema di calettamento del volano ma è sostanzialmente identico al precedente. Le bielle scomponibili sono in titanio.

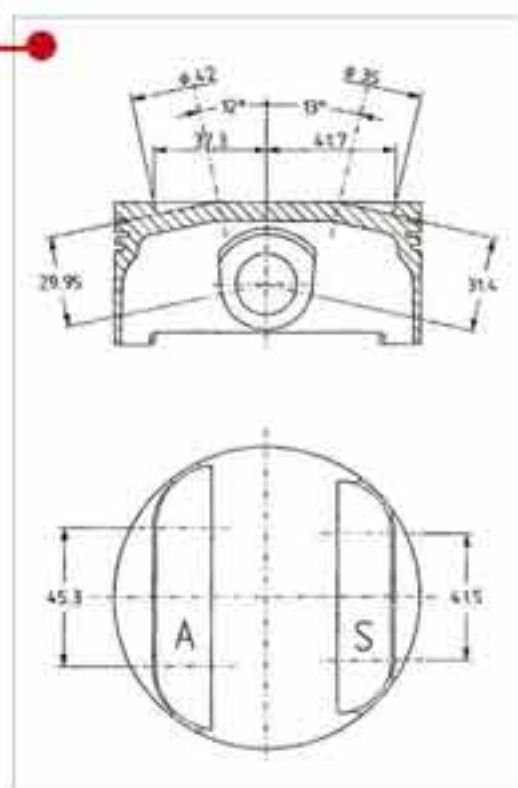
Riguardo alla cinematica del manovellismo, occorre un basso valore del rapporto tra il raggio di manovella e l'interasse della biella, poiché le forze d'inerzia e le spinte del pistone sul cilindro sono proporzionali a questo fattore.

Nel motore 998 questo rapporto si è ridotto da 0.266 a 0.256 grazie alla diminuzione della corsa da 66 a 63.5 mm mentre la biella ha mantenuto un interasse di 124mm.

I pistoni sono lucinati e rispetto alla 996 hanno perso il rivestimento superficiale antiattrito, sono stati alleggeriti riducendo l'altezza del mantello e sfiancando ulteriormente le portate; il pistone della moto da gara è ancora più alleggerito e vede l'eliminazione di un segmento rispetto ai due più il raschiaolio di quello da strada.

Gli alberi motore del 998 sono cambiati rispetto a quelli del 996 soltanto per la corsa e per il sistema di calettamento del volano, non più con cono e chiavetta ma con profilo scanalato, già sperimentato sulle moto da pista.

Rispetto alle versioni biposto nel "testastretta" l'adozione di bielle in titanio e l'alleggerimento del pistone ha consentito una forte riduzione dei contrappesi, rendendo il motore più pronto a salire di regime; nelle versioni da pista l'albero motore differisce per un lieve alleggerimento all'interno delle mannaie nella zona del perno di manovella e per la finitura superficiale.



Nuovo disegno del pistone con il cielo piatto e le sedi per il movimento delle valvole appena accennate, a vantaggio della "linearità" della forma della camera di scoppio.

Nel motore 998 le bielle vengono guidate dal pistone e non dall'albero perché il minore diametro dello spinotto rispetto a quello del perno di manovella riduce la coppia d'attrito quindi si hanno minori perdite organiche, mentre nelle versioni 996 biposto, dove si privilegia l'affidabilità, le bielle sono guidate dall'albero.

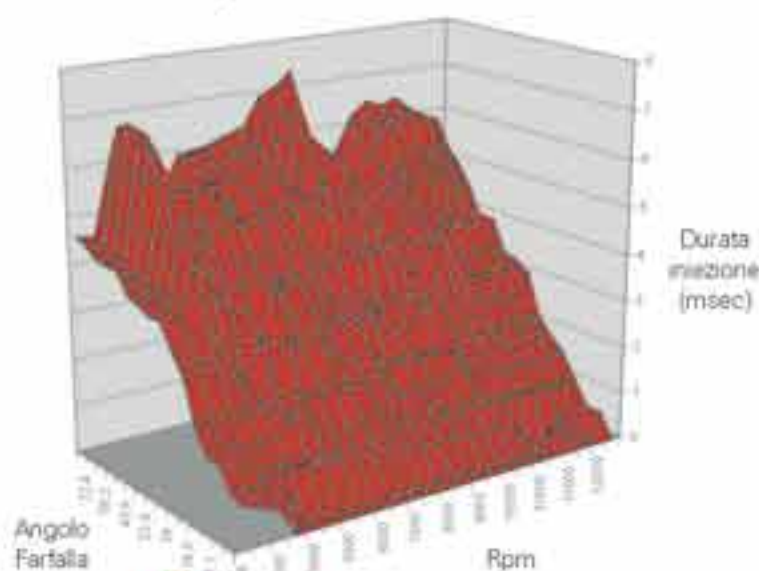


# Il sistema di iniezione

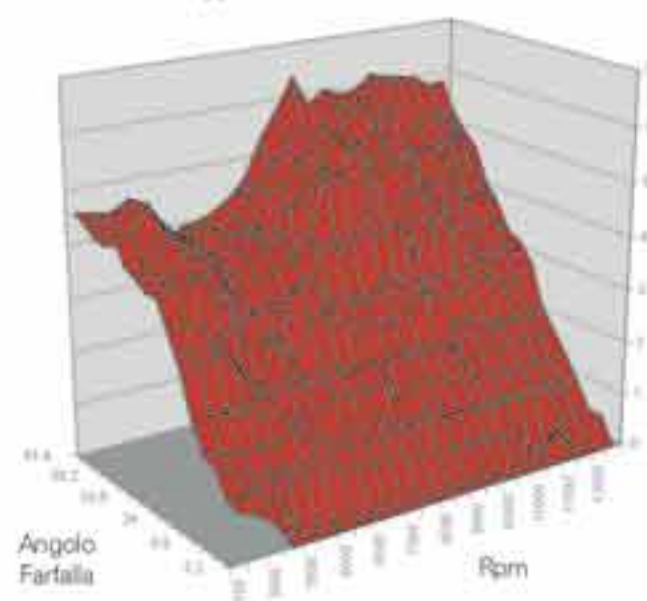
La quantità di carburante iniettato dipende solo dal tempo di iniezione che si ricava dalle mappe, diverse per i due cilindri, in funzione di velocità di rotazione e angolo farfalla.

Il 2° parametro fondamentale è l'anticipo di accensione. Ai risultati descritti in queste mappe si possono applicare fattori di correzione per modificare il comportamento del motore.

Mappa iniezione cilindro verticale



Mappa iniezione cilindro orizzontale



Il sistema di iniezione-accensione è un sistema elettronico che, in base ad una strategia di controllo, regola il funzionamento del motore comandando gli iniettori e l'accensione.

La strategia di controllo più utilizzata sui propulsori aspirati sia in ambito agonistico che produttivo, è la  $\alpha/N$ , in cui  $\alpha$  rappresenta l'angolo della valvola a farfalla comandata dall'acceleratore ed  $N$  la velocità di rotazione del motore (gli ingressi del sistema).

Le uscite del sistema, i segnali di comando per gli attuatori, si ricavano attraverso l'altezza di curve tridimensionali sul piano  $\alpha/N$ , chiamate "mappe principali".

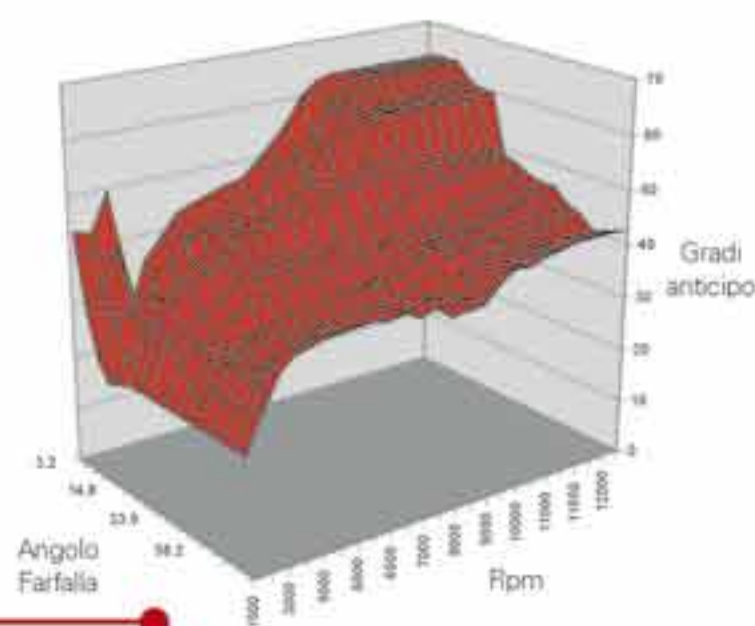
Le mappe principali nel sistema Ducati sono 2, specializzate per i due cilindri: una per i tempi di iniezione, e quindi per la quantità di carburante, ed una per l'anticipo di accensione.

Il sistema  $\alpha/N$  "puro" non considera situazioni di funzionamento particolari che richiedono una variazione della strategia principale, ad esempio quando il motore è freddo, quando cala/cresce la pressione atmosferica o quando il pilota accelera/decelera improvvisamente.

Per risolvere queste situazioni si correggono le mappe principali con fattori di correzione (percentuali per l'iniezione, additive per l'anticipo) ricavati da mappe bidimensionali in funzione del parametro da cui dipende la correzione (temperatura dell'acqua, pressione esterna, ecc.).

Le mappe non sono ricavate da un modello matematico del propulsore ma al banco di prova su un numero finito di punti  $\alpha/N$  (breakpoint) ed interpolate per i punti di funzionamento intermedi. I breakpoint sono disposti in modo non omogeneo per avere una densità maggiore nelle regioni di funzionamento più delicate, e quindi un controllo più accurato dove serve.

Mappa anticipo accensione



# Il sistema di iniezione

L'iniettore sul nuovo motore è posizionato sopra la farfalla per avere una miscela aria-carburante più omogenea. L'iniezione è sequenziale fasata.

L'elettroiniettore viene pilotato in logica negativa dalla centralina. Il carburante iniettato è proporzionale alla durata del segnale elettrico che attira magneticamente l'ancoretta aprendo l'iniettore.

Il sistema di accensione Ducati è statico induttivo, e può arrivare a voltaggi molto elevati. I moduli di potenza caricano le bobine con un certo anticipo rispetto alla scintilla della candela.



Il sistema utilizzato sia sui propulsori Ducati di serie che per le competizioni SBK è ad iniezione sequenziale fasata. I due iniettori vengono comandati secondo la sequenza di aspirazione dei cilindri e l'erogazione può iniziare dall'espansione fino all'aspirazione già iniziata.

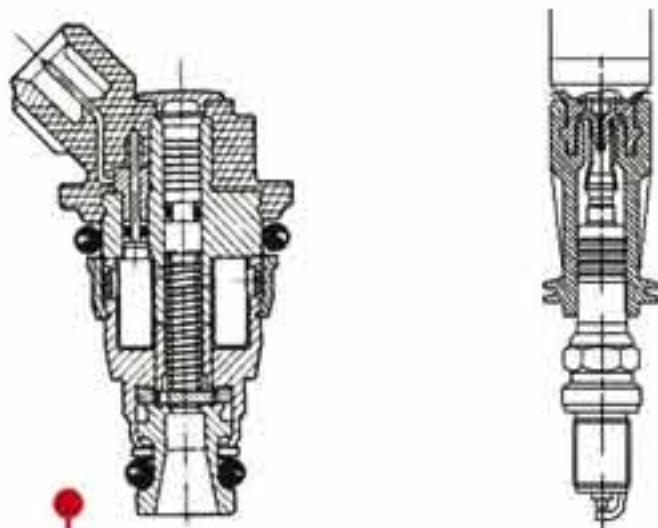
L'iniettore, più propriamente elettroiniettore, presenta all'interno del corpo un avvolgimento solenoide ed uno spillo solidale ad un'ancoretta magnetica. Lo spillo, sulla cui parte terminale è posto un perno spruzzatore, è premuto da una molla contro la sede di tenuta dell'iniettore chiudendo la luce di scarico.

Facendo circolare corrente nel solenoide questo genera un campo magnetico che attrae l'ancoretta e quindi lo spillo, aprendo la luce di scarico la quantità di combustibile che defluisce risulta proporzionale solo alla durata dell'apertura perché viene mantenuta costante la caduta di pressione sugli iniettori tramite un regolatore di pressione.

I sistemi Ducati adottano un solo iniettore per cilindro in posizione centrale "a doccia" a monte del corpo farfallato, e non più sotto la valvola come nel 996. Questa soluzione migliora la miscelazione del carburante a regimi di rotazione elevati: il carburante iniettato da un iniettore sotto la farfalla ha meno tempo per miscelarsi con l'aria.

L'iniettore è pilotato in logica negativa utilizzando come tensione "alta" la batteria e con il segnale a massa durante l'iniezione: se il segnale di "iniettore chiuso" è minore della tensione di batteria si può aprire l'iniettore (si evita però il rischio di bruciare lo stadio di uscita).

Il sistema di accensione è di tipo induttivo e composto da un gruppo bobina-candela per cilindro. L'energia impiegata nell'accensione è proporzionale al periodo di dwell (a cui corrisponde un angolo di dwell considerando rpm), durante il quale circola corrente nel circuito primario della bobina e che precede il punto di fuoco.



Nei sistemi Ducati l'energia impiegata è costante. Per caricare correttamente le bobine l'ECU memorizza il tempo di carica precedente sfruttandolo per l'accensione successiva (la tensione di batteria resta pressoché costante).



# La centralina

Il cuore del sistema di iniezione-accensione è una centralina digitale a microattuatore (Engine Control Unit). Il microattuatore è "l'unione" di un microprocessore di uno stadio di acquisizione dati e di uno stadio di uscita (di potenza) sincronizzato ed è reperibile in commercio in forma integrata (ad esempio il Motorola 68332).

L'ECU deve operare tra  $+30^{\circ}\text{C}$  e  $+60^{\circ}\text{C}$  con una tensione di batteria che varia da 6V a 15V (un regolatore di tensione alimenta i circuiti digitali), resistere a umidità, carichi meccanici e interferenze elettromagnetiche senza alterare le sue capacità di elaborazione.



L'ECU è un sistema elettronico digitale integrato a microattuatore: comprende un microprocessore interfacciato ad un banco di memorie, stadi di acquisizione dati e stadi di uscita di potenza sincronizzati.

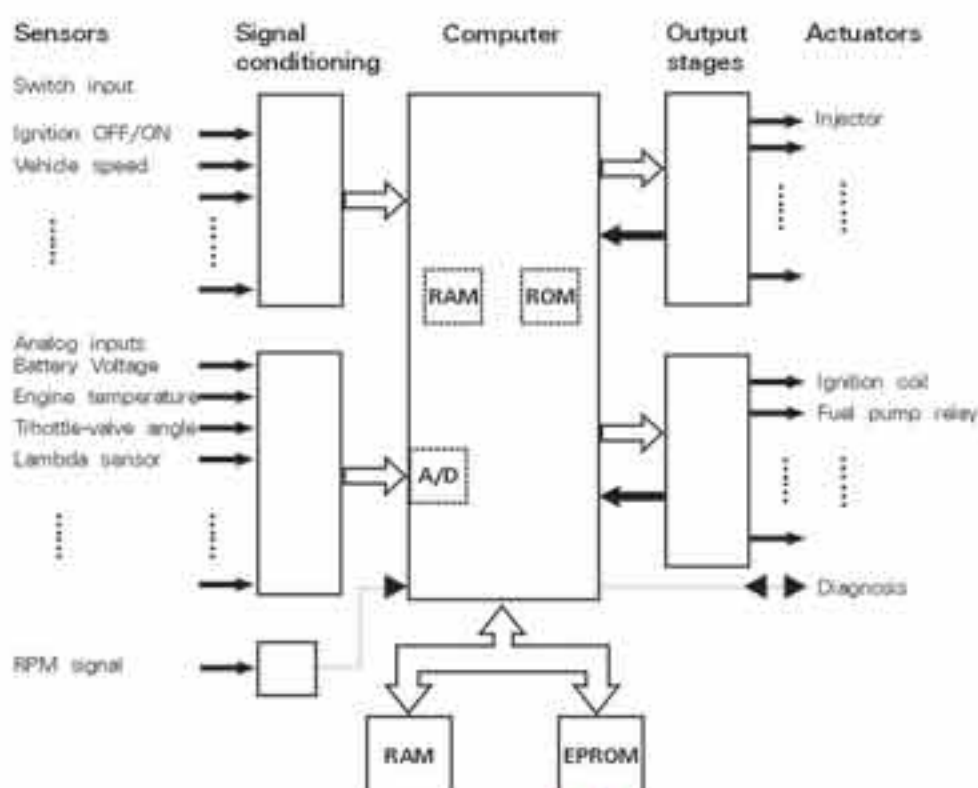
L'hardware della ECU viene progettato per il controllo di propulsori complessi: lo stadio di uscita può comandare fino a 8 iniettori ed accensioni e lo stadio di acquisizione è progettato con molti ingressi, specializzati per diversi segnali elettrici (a seconda dei trasduttori), permettendo di montare la stessa unità su diversi propulsori utilizzando anche solo parzialmente le risorse disponibili. Inoltre le ECU moderne gestiscono anche gli altri apparati elettrici del veicolo come la pompa del carburante o le ventole di raffreddamento dei radiatori.



Le connessioni con l'esterno sono concentrate su connettori multipolari standardizzati, le ECU per le competizioni sono equipaggiate con connettori di tipo militare.

La ECU è il centro di controllo e il computer del sistema di gestione del motore. Impiega algoritmi e funzioni memorizzati per processare i segnali in input trasmessi dai sensori. Questi segnali sono la base per calcolare i segnali di controllo degli attuatori, gestiti direttamente tramite moduli di potenza.

Motronic block diagram



Il software residente nella ECU (firmware) implementa il processo di controllo specializzato per un certo propulsore: descrive i range fisici dei segnali acquisiti, gli iniettori da impiegare, le mappe di controllo, limita il regime massimo di rotazione, ecc. Il processo, eseguito anche 250 volte al secondo ai regimi più elevati, compie tre passi fondamentali: acquisizione dei parametri motoristici e di funzionamento, calcolo dei tempi di iniezione e dell'angolo di anticipo estrapolati dalle mappe e attuazione corretta dei risultati.

Le ECU integrano porte di comunicazione per intervenire dall'esterno sul firmware o sulle mappe o per diagnosticare guasti al sistema. Attraverso meccanismi di feedback l'ECU è in grado di riconoscere guasti agli attuatori o al cablaggio e in caso di anomalia spegne il motore bloccando l'iniezione per evitare la produzione di inquinanti in eccesso (normativa americana OBD, On Board Diagnosis) e ulteriori guasti agli attuatori.



# Ducati 996 R strada

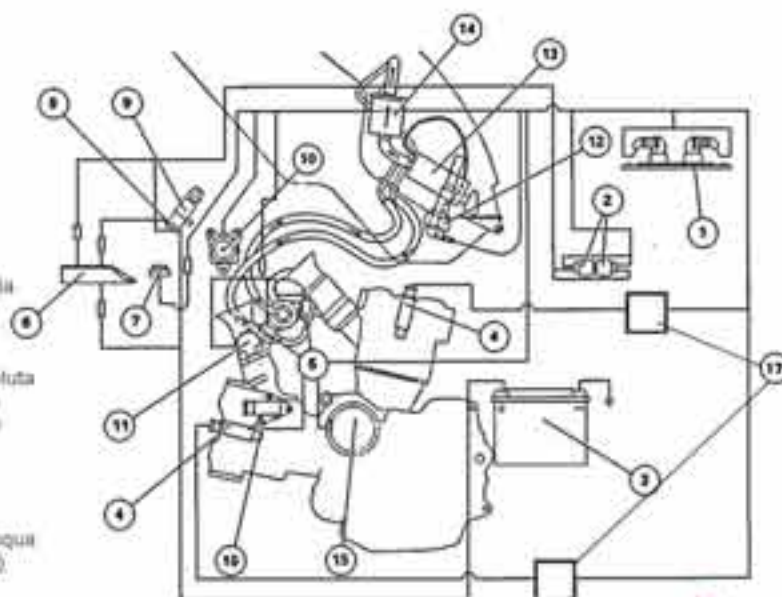
Il sistema integrato di iniezione - accensione è di tipo sequenziale fasato con l'accensione a scarica induttiva. Il sistema di controllo vede il motore attraverso ingressi collegati ai sensori che danno alla ECU un quadro completo del funzionamento del motore stesso.

1. Sensore temperatura acqua del circuito di raffreddamento
2. Sensore integrato temperatura/pressione atmosferica
3. Potenzenziometro accoppiato alla valvola a farfalla

Il carburante proveniente dalla pompa spinge sull'equipaggio mobile contrastato dalla molla. Superata la soglia di pressione la valvola si sposta e il carburante defluisce al serbatoio attraverso l'ugello.

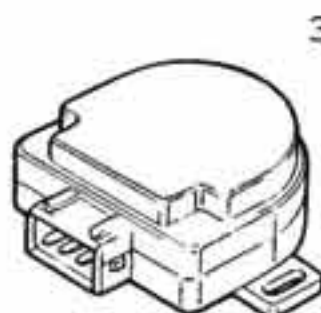
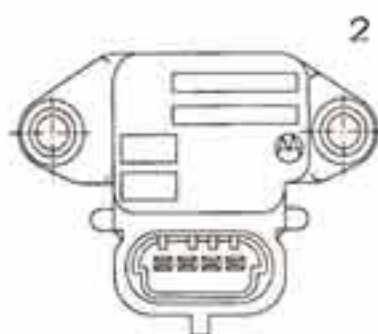
La variazione del traferro fra i denti dell'ingranaggio e il nucleo ferroso produce una variazione nel tempo del flusso del campo magnetico sull'avvolgimento, generando una differenza di potenziale ai suoi capi.

- Il sistema di iniezione:
1. centralina elettronica
  2. relais
  3. batteria
  4. candela
  5. elettroiniettore (uno per cilindro)
  6. centralina immobilizer (optional)
  7. sensore temperatura aria
  8. ricevitore immobilizer (optional)
  9. commutatore a chiave
  10. sensore pressione assoluta
  11. potenziometro a farfalla
  12. sonda livello carburante
  13. pompa carburante
  14. filtro carburante
  15. ingranaggio condotto distribuzione
  16. sensore temperatura acqua
  17. bobina (una per cilindro)



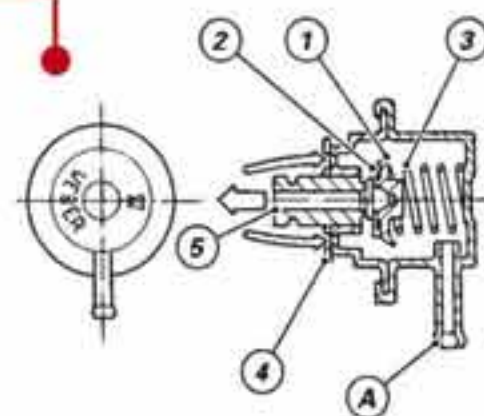
L'ECU del "Testastretta" è la Magneti Marelli LAW 59 M, una compattissima centralina dell'ultima generazione che sfrutta un microprocessore RISC a 32 bit. La LAW 59 M integra funzioni ausiliarie e controlla le elettroventole dei radiatori, la pompa del carburante, spegnendola se il motore scende sotto il minimo di giri, e il bilancio elettrico, alzando il minimo se la richiesta di energia è superiore a quella generata per evitare di scaricare la batteria. Le mappe principali sono memorizzate in una Flash Eeprom, programmabile via seriale attraverso un tester dedicato (Mathesis), ed hanno una risoluzione di 32x20 breakpoint, 640 punti.

- Il set di sensori è composto da
1. potenziometro accoppiato alla valvola a farfalla
  2. sensore di pressione assoluta (incorporato nella ECU)
  3. sensore di temperatura/pressione dell'aria aspirata dal motore
  4. temperatura dell'olio motore
  5. temperatura dell'acqua del circuito di raffreddamento
  6. tensione della batteria
  7. sensore giri/fase del motore

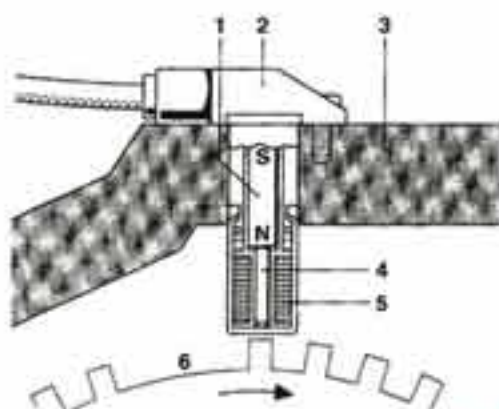


Il potenziometro, i sensori di temperatura, di tipo NTC, e di pressione forniscono segnali analogici in tensione (0-5 V). Il sensore fase/giri del motore è un unico "pick-up" induttivo, affiancato all'ingranaggio della distribuzione, in grado di leggere i 46 denti dell'ingranaggio e la discontinuità, pari a due denti, che segnala la fase del motore; l'ECU contando gli impulsi estrapola il regime di rotazione e la fase con precisione inferiore al grado.

- Regolatore di pressione
- 1-2. equipaggio mobile
  3. molla tarata
  4. valvola a piattello
  5. ugello
  - A. raccordo atmosfera



- Sensore induttivo RPM:
1. magnete permanente
  2. alloggiamento
  3. Blocco motore
  4. nucleo di ferro dolce
  5. avvolgimento
  6. ruota dentata con punto di riferimento (gap)

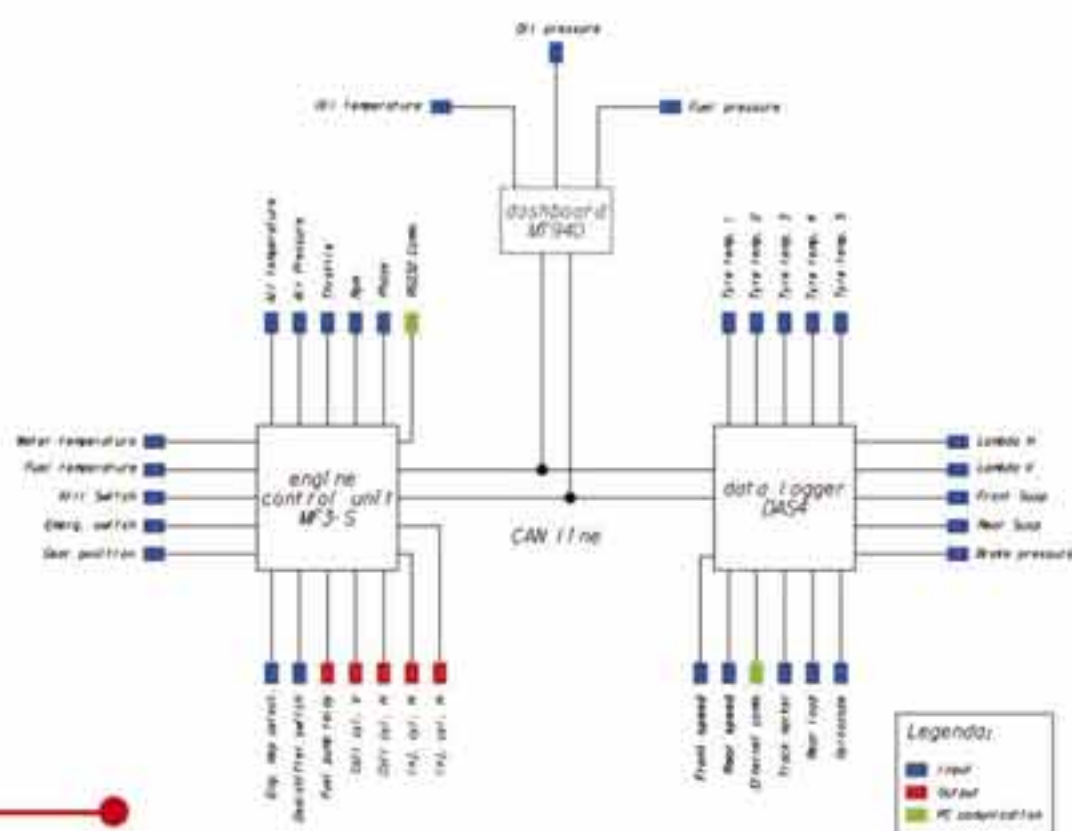


La strategia principale di controllo viene modificata da vari fattori. Il tempo di iniezione base viene moltiplicato per un coefficiente di correzione in funzione della temperatura del motore, della rapidità di apertura/chiusura della farfalla e dalla pressione nel condotto di aspirazione. A pieno carico viene aumentato il tempo di iniezione per ottenere la massima potenza erogata dal motore. Durante l'avviamento l'ECU attua iniezioni contemporanee su i cilindri con anticipo fisso a 0° e poi passa al sequenziale fasato.



# Ducati 996 R pista

L'ECU MF3S è interfacciata tramite linea CAN al data logger DAS4, al quale invia i dati ricevuti dai sensori e i risultati delle elaborazioni; e alla dashboard. I sensori sono collegati tutti a queste tre unità, con campionamenti ad una frequenza max di 100Hz.



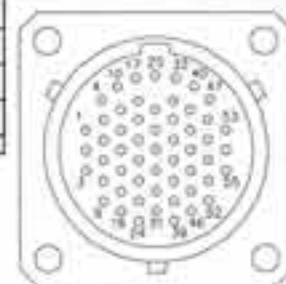
L'ECU impiegata sulla 996R da pista è la Magneti Marelli MF3-S. Rispetto alla ECU "stradale", la MF3 ha una potenza di calcolo simile ma più funzioni ausiliarie, come la linea CAN ad 1 Mbit/sec, una maggiore affidabilità, la possibilità di intervenire velocemente sul firmware e sulle mappe via software tramite PC e un connettore esterno di tipo militare. Il set di sensori adotta in più rispetto alla moto stradale 2 pick-up distinti per acquisire il regime di rotazione e la fase del motore, un sensore di temperatura del carburante (di tipo NTC) ed un sensore della marcia inserita, realizzato con un potenziometro montato su una camma dell'albero del cambio.

Il data logger memorizza i dati raccolti dalle altre unità e dai sensori collegati, dedicati ai parametri necessari alla ricostruzione della traiettoria percorsa dalla moto. Ha una uscita Ethernet per scaricare rapidamente i dati.

La moto da corsa è dotata di comandi al manubrio connessi direttamente alla ECU che agiscono sul controllo del motore.

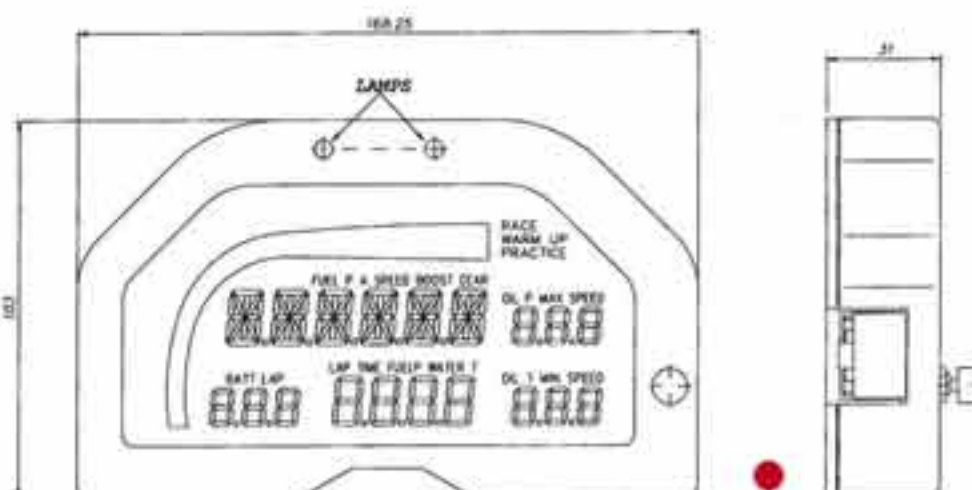
- Gearshifter Switch permette di cambiare marcia tenendo il gas completamente aperto e senza usare la frizione
- Gearshifter Switch On/Off elimina il sistema di cambiata rapida in caso di guasto
- Kill Switch spegne il motore (obbligatorio da regolamento, serve in caso di incidenti)
- Engine Map Select seleziona il set di mappe da utilizzare

DAS4 pin-out: SUTD0RT-16-30PN								
Pin	Name	descr.	Pin	Name	descr.	Pin	Name	descr.
1	AIN1	0...5V input #1	25	AGND	analogue ground	41	RX485_P	not used
2	AIN2	0...5V input #2	22	AGND	analogue ground	42	RX485_N	not used
3	AIN3	0...5V input #3	23	AGND	analogue ground	43	CAN1_T	Connect to CAN1_P to terminate CAN1
4	AIN4	0...5V input #4	34	AGND	analogue ground	44	CAN1_P	CAN1 positive
5	AIN5	0...5V input #5	35	POWER	max 10V DC	45	CAN2_P	CAN2 positive
6	AIN6	0...5V input #6	36	SHIELD	shield	46	CAN2_T	Connect to CAN2_P to terminate CAN2
7	AIN7	0...5V input #7	37	GND_PWR	ground supply	47	TX3232	Tx RS232
8	AIN8	0...5V input #8	38	GND_GM	digital ground	48	TX485_P	not used
9	AIN9	0...5V input #9	39	MARKER	spare digital input	49	TX485_N	not used
10	AIN10	0...5V input #10	20	BEACON	track marker (internal pull-up 10kΩ to 5V)	50	CAN1_N	CAN1 negative
11	AIN11	0...5V input #11	21	CODELOAD	ground for code/load - do not connect on car boom	51	ETHTX_P	Tx Ethernet positive
12	AIN12	0...5V input #12	32	GND_233	ground RS232	52	CAN2_N	CAN2 negative
13	AIN13	0...5V input #13	33	GND_485	ground RS485	53	ETHRX_P	Rx Ethernet positive
14	AIN14	0...5V input #14	34	GND_CAN	ground CAN1&2	54	ETHRX_N	Rx Ethernet negative
15	AIN15	0...5V input #15	35	GND_IC	digital input capture ground	55	ETHTX_N	Tx Ethernet negative
16	AIN16	0...5V input #16	36	IC_1	internal pull-up 10kΩ to 5V			
17	VREF	5V reference	37	IC_2	internal pull-up 10kΩ to 5V			
18	VREF	5V reference	38	IC_3	internal pull-up 10kΩ to 5V			
19	VREF	5V reference	39	IC_4	internal pull-up 10kΩ to 5V			
20	AGND	Analogue ground	40	RX3232	Rx RS232			



L'unità di acquisizione dati è il data logger DAS4; può avere collegati fino a 5 sensori a infrarossi per la temperatura delle gomme, sonde lambda separate, sensori sulle sospensioni e per la pressione dei freni, una cella di carico sull'ammortizzatore posteriore, un sensore collegato ad un trasmettitore all'arrivo per il tempo preciso sul giro detto Track Marker e il Gyroscope, per avere l'angolo di imbardata della moto.

L'operatore scarica poi tutti i dati raccolti con un collegamento Ethernet e riesce a ricostruire esattamente la traiettoria percorsa. La dashboard MT940 è il cruscotto digitale della moto: segnala al pilota pressione carburante e pressione e temperatura dell'olio oltre a tempi e velocità, ha 3 programmi completamente personalizzabili e un tasto per potervi accedere.



# La ciclistica



A causa della incertezza delle precise concatenazioni di causa ed effetto tra interventi sulla ciclistica e prestazioni, nella regolazione dell'assetto c'è ancora spazio per i "maghi", cioè tecnici che "sentono" quale sia la configurazione più vantaggiosa senza magari conoscerne le giustificazioni fisiche.

Il comportamento dinamico di una moto è influenzato da numerosi parametri che ne definiscono la configurazione: angolo di sterzo, avancorsa, passo, posizione delle sospensioni, ripartizione dei carichi, masse non sospese... Modificando i componenti che determinano i valori di tali parametri è possibile imprimere anche ad una stessa moto caratteri molto diversi ed una maggiore o minore maneggevolezza e manovrabilità, ovvero una risposta alle sollecitazioni fornite da pista e pilota più o meno pronta e facilmente gestibile.

Occorre notare che, a differenza del motore, che viene modellizzato con modelli matematici discretamente precisi i cui risultati possono essere verificati sperimentalmente in sala prove, lo studio della ciclistica dispone di mezzi matematici e sperimentali molto meno raffinati.

Infatti differenze di potenza del motore anche dell'ordine di due cavalli, assolutamente invisibili nella prestazione in pista, sono rilevabili mediante prove al banco, e forniscono informazioni quantitative sugli effetti positivi o negativi delle soluzioni adottate; l'insieme di tutte le piccole modifiche, ciascuna da sola insufficiente, fa poi la differenza rispetto agli avversari. Per gli interventi sull'assetto non si hanno invece a disposizione riscontri quantitativi diversi dai tempi sul giro; questa operazione però è ardua, perché questi ultimi sono viziati da tutti i fattori possibili, non ultimi i gusti e le opinioni personali del pilota, che possono falsare le sue prestazioni più della stesse leggi della fisica.

Nel campo della ciclistica è quindi possibile ottenere ancora grandi miglioramenti, mentre nell'ambito motoristico i margini di ottimizzazione sono ormai molto più ristretti; per questo è crescente lo sforzo di creare modelli matematici più raffinati che simulino il comportamento della moto su strada.



**Asse di sterzo:**  
è l'asse rispetto al quale possono ruotare sospensione e ruota anteriori.  
**Angolo di sterzo:**  
è l'angolo di inclinazione dell'asse di sterzo rispetto alla verticale.  
**Avancorsa:**  
distanza tra il punto di contatto dello pneumatico anteriore con il terreno (ipotizzando lo pneumatico indeformabile) ed il punto di intersezione tra l'asse di sterzo ed il piano di terra.  
**Offset:**  
distanza tra l'asse di rotazione della ruota anteriore e l'asse di sterzo.  
**Passo:**  
distanza tra i due punti di contatto tra ruote anteriore e posteriore con il terreno.



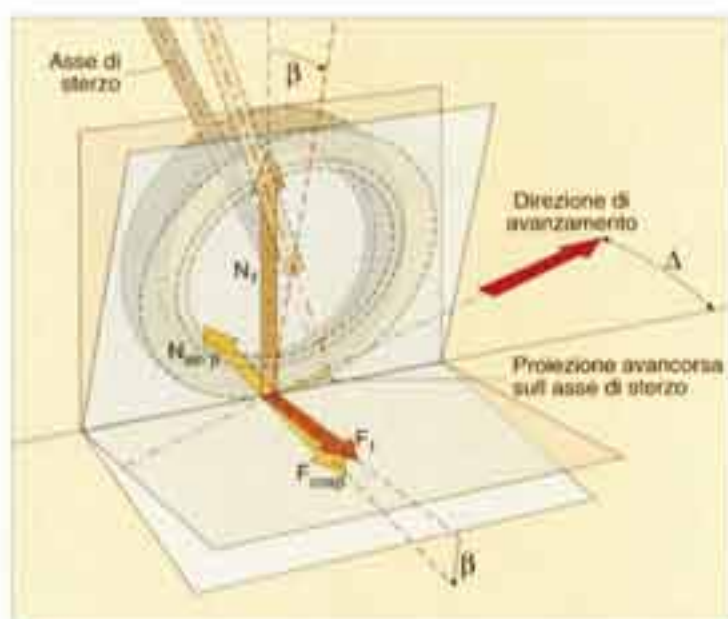
# Il momento raddrizzante

Quando su una moto in rettilineo una causa perturbante fa ruotare l'avantreno, si genera sulla ruota anteriore un momento tale da riportarla nello stato precedente, detto momento raddrizzante. Una elevata coppia raddrizzante favorisce un comportamento stabile della moto, a prezzo però di una scarsa maneggevolezza: una supersportiva sarà quindi caratterizzata da un basso valore di tale momento.

Analiticamente il momento raddrizzante è dato da:



La posizione del baricentro è fortemente influenzata dal comportamento del pilota: cambiando la sua posizione in sella può spostare considerevolmente la distribuzione delle masse del sistema in movimento e variare quindi molto il comportamento dinamico.



$$M = a \cdot (F \cdot \cos \beta - N \cdot \sin \beta)$$

$a = a \cdot \cos \epsilon$  : proiezione dell'avancorsa sull'asse di sterzo;

$\epsilon$ : inclinazione dell'asse di sterzo

$\beta$ : angolo di rollio della ruota anteriore;

$F = m \cdot (v \cdot b) / (r \cdot \sin \alpha)$  : forza laterale sullo pneumatico;

$N = m \cdot g \cdot b / p - f \cdot h / p$  : carico verticale sulla ruota anteriore;

$m$ : massa della moto;

$v$ : velocità della moto;

$r$ : raggio della traiettoria;

$F$ : forza di trazione;

$h$ : altezza del baricentro;

$p$ : passo;

$b$ : distanza orizzontale baricentro-asse ruota posteriore;

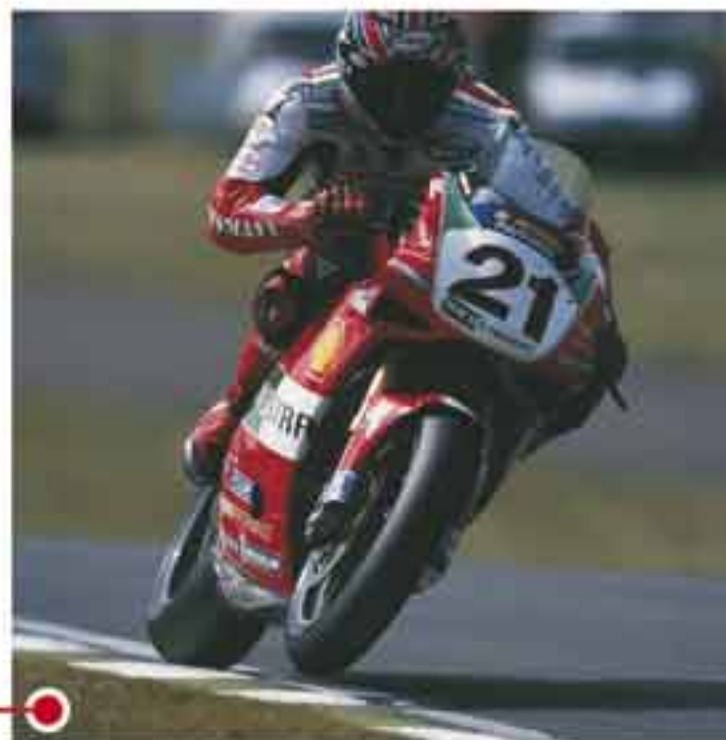
$f$ : coefficiente di attrito pneumatico-terreno.

Esso è quindi direttamente proporzionale all'avancorsa ( $a$ ) e al termine  $(F \cdot \cos \beta - N \cdot \sin \beta)$  detto "fattore dinamico".

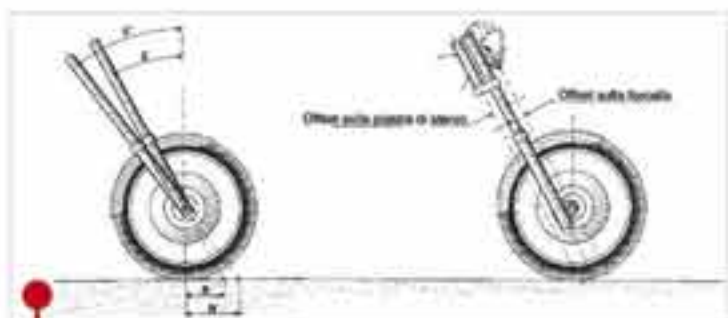
L'avancorsa è sottoposta a continue variazioni dovute ai carichi variabili agenti sulla moto ma, in generale si ha che:

- aumentando l'angolo di sterzo è evidente che l' $a$  aumenta. Le moto sportive hanno in genere un'inclinazione compresa tra i 23°30' ed i 26° (piuttosto stretti). Sia nella 996R sia nella SBK l'angolo è regolabile su due valori (23°30' o 24°30').
- tanto maggiore è il raggio della ruota anteriore, tanto maggiore risulta  $a$ .
- l'offset riduce  $a$ . Nella 996R l'offset ha un valore più elevato (36mm) a causa degli ingombri della strumentazione, mentre nella SBK è sufficiente un valore minore (anche perché è sufficiente un minore angolo di sterzata) ed è regolabile (25 - 31 mm).

Nella moto di serie l'offset è fisso sui 36 mm; la moto racing monta piastre diverse, sia nei materiali (Mg), sia nella geometria, che consente una regolazione dell'offset mediante due eccentrici nel canotto di sterzo (25 - 31 mm).



Variazioni dell'inclinazione dell'asse di sterzo e dell'offset modificano l'entità dell'avancorsa e quindi del momento raddrizzante



Il fattore dinamico è influenzato da numerose caratteristiche della moto: peso, posizione del baricentro, velocità di avanzamento, coefficiente di attrito pneumatico-strada. In particolare la 996R ha un peso dichiarato di 185 kg; mentre la superbike ha il peso minimo consentito dal regolamento di 162 kg: il fattore dinamico e conseguentemente il momento raddrizzante risultano minori e la moto ancora più maneggevole.



# Comportamento in curva

L'angolo di rollio effettivo della moto è quello misurato sulla posizione del baricentro del sistema moto-pilota.

Il coefficiente di attrito pneumatico-terreno è il parametro che influenza il massimo angolo di piega raggiungibile. Per un valore teorico pari a 1 il massimo angolo di rollio è di 45°; le SBK piegano fino quasi a ...50° grazie alle mescole tenere che "ingranano" nell'asfalto!



A differenza delle vetture, che impostano la curva semplicemente girando le ruote attorno ad assi verticali, per percorrere una traiettoria curvilinea le moto devono piegarsi da un lato secondo un angolo di rollio che dipende dal raggio di curvatura e dalla velocità di percorrenza della traiettoria. In questo modo infatti lo sbilanciamento del baricentro che farebbe cadere la moto sul lato interno della curva equilibra la coppia dovuta all'azione centrifuga, che farebbe ribaltare la moto sul lato opposto.

Per impostare la curva e ottenere questo equilibrio dinamico, i piloti sfruttano l'effetto giroscopico: una piccola rotazione dello sterzo in direzione opposta a quella della curva permette di inclinare correttamente il veicolo; questo si può ottenere in due modi: o direttamente, applicando con le mani una

coppia sul manubrio verso l'esterno della curva, o indirettamente, con uno spostamento del corpo verso l'interno della curva, che fa in modo che la moto si inclini impercettibilmente in senso opposto provocando la rotazione dello sterzo cercata.

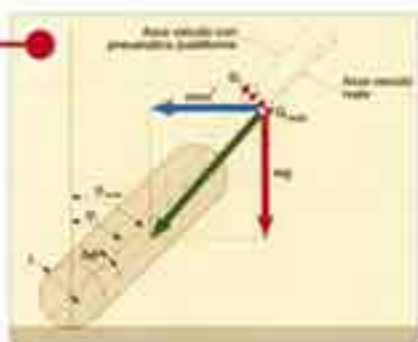
La 996 è una moto da guidare "di corpo": l'elevato carico sull'avantreno rende difficoltoso un controllo preciso attraverso lo sterzo, mentre la leggerezza del complesso forcella-ruota permette all'avantreno di sterzare velocemente in seguito all'inclinazione della moto; lo spostamento del corpo moto è poi particolarmente agevole, dato l'altezza del piano di seduta del pilota ed il ridotto peso della moto.

I massimi di velocità ed angolo di rollio nella percorrenza di una curva si hanno quando la massima reazione orizzontale del terreno sullo pneumatico viene eguagliata dalla forza centrifuga:  $f \cdot m \cdot g = m \cdot v^2 / r$  ovvero  $v_{max} = \sqrt{f \cdot g \cdot r}$ . Tale valore non dipende dalla



Uno pneumatico più largo impone un angolo di rollio del veicolo maggiore poiché il punto di contatto col terreno si sposta all'interno della curva, riducendo l'angolo di rollio effettivo. La SBK monta dei 180/55-17 anziché 190/50-17 con cerchi da 5,75 o 5,5 pollici anziché 6.

Per impostare una curva è necessario effettuare una piccola sterzata dalla parte opposta rispetto alla curva in modo che il momento giroscopico faccia inclinare correttamente la moto.



massa della moto ma solo da  $f$ , coefficiente di attrito; per questo la SBK ha un angolo di piega limite superiore a quello della moto stradale: grazie a pneumatici con  $f$  maggiore di 1, contro lo 0,8 - 0,9 delle gommature normali.

Le dimensioni degli pneumatici non influenzano la velocità massima in curva ma definiscono la maneggevolezza della moto: all'aumentare della sezione è necessario inclinare di più la moto a parità di velocità, oppure diminuire la velocità di percorrenza a parità di inclinazione, perché il punto di contatto pneumatico-strada si sposta verso l'interno della curva. Le moto racing usano uno pneumatico posteriore di larghezza minore a quello di serie: 180mm anziché 190mm.

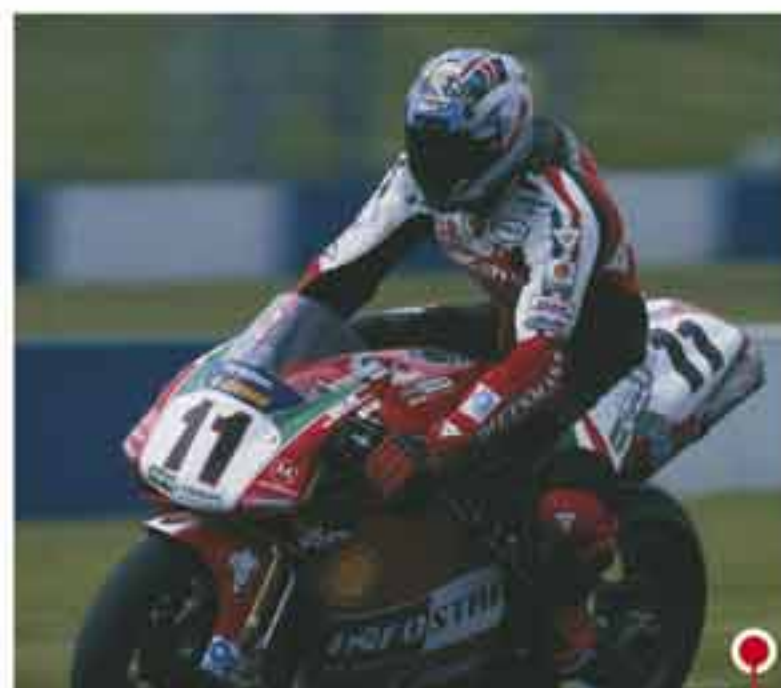


# Il trasferimento di carico

Una violenta accelerazione provoca un grande trasferimento di carico da un asse all'altro che può portare l'intero peso sulla ruota posteriore. L'anteriore quindi si solleva, arrivando anche al ribaltamento.



Quando varia la velocità della moto si verifica un trasferimento di carico: le forze di frenata o di accelerazione sono generate a livello del suolo, più in basso rispetto al baricentro, dove si può pensare applicata la forza di inerzia della moto, che ha verso contrario. Si crea quindi una coppia ribaltante sul veicolo, che ne modifica la ripartizione dei carichi.



Si può considerare ottimale la ripartizione del 50-50 % fra anteriore e posteriore per la moto scarica; con le diverse posizioni assunte dal pilota la ripartizione dei carichi varia continuamente.



Maggiore è l'accelerazione o decelerazione, maggiore è il trasferimento di carico, che può al limite spostare l'intero peso su una sola ruota, portando al sollevamento dell'altra; se questo avviene, l'altezza del baricentro aumenta e si amplifica l'effetto di rotazione, poiché cresce il braccio della coppia e si può arrivare anche al ribaltamento del motoveicolo. Il trasferimento di carico si può esprimere come:

$$N_{\text{trasf}} = Th/p$$

Nel caso dell'accelerazione i carichi agenti sulle ruote divengono quindi:  $N_f = mgb/p - Th/p$

$$N_r = mg(p-b)/p + Th/p$$

$N_{\text{trasf}}$  trasferimento di carico;  $N_f$  Forza verticale sulla ruota anteriore;  $N_r$  Forza verticale sulla ruota posteriore;  $T$  Forza motrice;  $h$  altezza da terra del baricentro;  $p$  passo;  $m$  massa della moto;  $g$  accelerazione di gravità.

L'allungamento del forcellone nella moto SBK ha l'effetto di spostare in avanti il baricentro rispetto al passo della moto, rendendo più difficile il sollevamento della ruota anteriore in accelerazione.

La posizione del baricentro, ovvero la ripartizione delle masse sulla moto, risulta fondamentale: spostandolo in avanti si ottiene una minore tendenza all'impennata e un bloccaggio della ruota anteriore in frenata meno probabile. Per fare avanzare il baricentro, il forcellone della SBK è più lungo di 15 mm rispetto alla 996R: si ha così un mezzo più "guidabile" in condizioni estreme. Inoltre, per limitare i rischi di bloccaggio dell'anteriore in frenata, si mantiene una altezza del baricentro discretamente elevata, a discapito di qualche saltellamento in più al posteriore. I piloti preferiscono modulare la frenata usando come riferimento il sollevamento del posteriore, piuttosto che andare a cercare il limite di aderenza dell'anteriore.

In accelerazione per effetto del trasferimento di carico  $N_{\text{trasf}} = Th/p$ , le reazioni a terra risultano:  
 $N_f = mgb/p - Th/p$ ,  
 $N_r = mg(p-b)/p + Th/p$ .



# Accelerazione e frenata

Per migliorare la rigidità si utilizza un montaggio "radiale": le viti di fissaggio della pinza sono disposte radialmente rispetto al disco. In tal modo la pinza risulta abbracciata alle due estremità dal piedino della forcella e lavora così in modo più "guidato".



La 996R monta pinze Brembo (4 pistoncini e 4 pastiglie) "triple bridge": l'archetto centrale aumenta la rigidità della pinza, e quindi le prestazioni. Per compensare le deformazioni dovute al riscaldamento o alla inflessione della forcella durante la frenata vengono adottati dischi semiflottanti in acciaio, con pista frenante da 34 mm, per un peso di 680g.

Nelle moto da competizione è fondamentale che l'impianto frenante sia potente e lineare nella sua risposta alla pressione sulla leva, fino alla fine della gara. Per questo sono necessarie grandi rigidità strutturali e insensibilità alle elevate temperature che si possono sviluppare (anche 600 C°). Sulla SBK le pinze, da scomponibili in due metà, diventano monoblocco per avere una maggiore rigidità; le pastiglie hanno coefficiente d'attrito maggiore ma durata ridottissima e danno il massimo alle alte temperature. Le pinze sono fissate alla forcella in due punti, anziché in uno: si ottiene così una struttura chiusa invece che aperta (molto più rigida a torsione) e la pinza risulta più "guidata". Viene montata al manubrio una pompa dal diverso cinematismo (radiale), meno compatta ma più efficiente.



Per evitare il saltellamento del posteriore nelle violente scalate in decelerazione viene montata una frizione antisaltellamento: quando la scalata è troppo violenta diminuisce la pressione sui dischi della frizione, limitando così la coppia frenante del motore.



I dischi aumentano in spessore, per non deformarsi alle alte temperature, mentre la pista frenante si restringe, lasciando il diametro esterno del disco immutato, per aumentare il braccio (e quindi il momento) delle forze d'attrito.

Per limitare il saltellamento del posteriore nelle violente scalate in decelerazione viene montata in entrambe le moto una frizione antisaltellamento: un dispositivo che limita la coppia frenante del motore. Il fenomeno è infatti dovuto alla reazione che si genera sulla ruota posteriore a livello del terreno in scalata, forza che crea una coppia che fa "chiudere" la sospensione e fa quindi alzare la ruota.



# Il telaio

Il primo requisito richiesto ad un telaio è di fornire una base rigida e leggera che mantenga le ruote nel piano imposto dal comando di sterzo. Questo significa mantenere gli assi dei cuscinetti del forcellone e dello sterzo su piani che sono rispettivamente orizzontale e verticale, fronteggiando i carichi dovuti alla spinta del motore, alle frenate ed alle sollecitazioni delle sospensioni.

Il telaio deve inoltre supportare il motore e sostenere pilota ed equipaggiamenti ausiliari.

La Ducati adotta un telaio a traliccio composto da tubi saldati in forme pseudo-triangolari, che conferisce alle moto performanti prestazioni ciclistiche ed una spiccata personalità.



La Ducati adotta un telaio a traliccio che conferisce alle sue moto oltre a performanti prestazioni ciclistiche anche una spiccata personalità. La struttura presenta una elevata rigidità torsionale (circa 200.000 Nm/grado). I tubi sono da 2 mm di spessore.

Evoluzione dei telai: in tubi d'acciaio a culla, a traliccio, scatolati in barre d'alluminio. Le modifiche hanno apportato miglioramenti in rigidità, leggerezza, accessibilità al motore.

Il primo requisito richiesto ad un telaio è di fornire una base rigida e leggera che mantenga le ruote nel piano imposto dal comando di sterzo.



Per consentire accessibilità al motore ed agli altri componenti, non è però possibile costruire una struttura completamente triangolata nei suoi sottoinsiemi e priva di tubi curvi, che sarebbe la soluzione ideale, ma si accetta nelle zone più difficoltose una maglia quadrangolare e la presenza di travi curve: questo comporta la nascita di sollecitazioni flettenti al posto di quelle puramente assiali presenti nella maglia triangolare, e quindi minore rigidità.

I tubi, in acciaio da bonifica, sono a sezione tonda con spessore di 2mm. Il motore ha tre ancoraggi per lato, uno dei quali è coassiale con il perno del forcellone, che è collegato anch'esso al telaio, per garantire una migliore complanarità delle ruote. La struttura così ottenuta presenta una elevata rigidità torsionale (circa 200000 Nm/grado).

Il telaio della SBK rimane praticamente invariato, come da regolamento, che impone di mantenerne invariata la geometria di base ed il materiale; le uniche differenze consistono nelle saldature, più curate (TIG anziché MIG). Eventuali modifiche alla geometria, ad esempio una variazione necessaria ad ospitare un airbox di dimensioni maggiori, vengono effettuate prima sulla moto di produzione per potere essere poi omologate.



# Forcellone e forcella

La forcella è a steli rovesciati, e gli steli per la maggiore distanza tra le boccole rispetto alla forcella tradizionale sono sottoposti ad una minore flessione, così da rendere la forcella più scorrevole nelle condizioni di massimo stress (massima piega della moto).

Nella forcella della SBK cambia il diametro degli steli rispetto a quella di serie (da 43 a 42 mm) per una minore rigidità all'avantreno.

Il forcellone della moto racing è più lungo di 15 mm per una maggiore trazione. La sezione aumenta di dimensioni e diminuisce di spessore, in modo che la rigidità risulti maggiore ed il peso minore, grazie anche ad un diverso materiale (Mg anziché Al).

Nella versione SBK l'interasse tra le canne aumenta (da 205 a 218 mm) per evitare la schermatura della ruota e fare sì che siano investiti dal vento di corsa.



Il regolamento della Superbike lascia una certa libertà di azione riguardo a forcella e forcellone: non vi sono restrizioni particolari, se non che l'aspetto della moto rimanga simile all'originale.

Il forcellone della SBK è più lungo di 15 mm per migliorare trazione e comportamento in curva, mentre la sezione aumenta di dimensioni e diminuisce di spessore. In questo modo, nonostante l'aumento di lunghezza, la rigidità risulta leggermente maggiore ed il peso minore rispetto alla 996R, grazie anche all'uso di un diverso materiale: magnesio anziché alluminio.

La forcella è a steli rovesciati come nella moto di serie: a causa della maggiore distanza rispetto alla forcella tradizionale tra le boccole che guidano il movimento stelo-fodero (in acciaio rivestito di teflon), gli steli sono sottoposti ad una minore flessione e la forcella risulta più scorrevole.



Il loro diametro è di 42mm nella SBK contro i 43mm della 996R, per un miglior feeling dei piloti. Inoltre la forcella rovesciata ha masse non sospese minori rispetto ad una tradizionale e offre la massima resistenza a flessione proprio dove la sollecitazione è più elevata, cioè all'attacco con le piastre di sterzo, poiché i foderi presentano un momento resistente a flessione maggiore rispetto agli steli.



Per migliorare la scorrevolezza gli steli presentano anche un riporto al TiN, che conferisce la caratteristica colorazione dorata. Le regolazioni possibili rimangono le stesse offerte dalla forcella stradale (precarico molla e freno idraulico in compressione e in estensione).

L'interasse tra le canne aumenta (da 205 a 218 mm) per fare in modo che i dischi freno siano disposti fuori dal cerchione e ricevano più aria per raffreddarsi, poiché viene evitata la schermatura della ruota.



# Aerodinamica

Sulla SBK vengono eliminati tutti gli accessori non necessari in pista, come specchietti, frecce... per migliorare il  $c_x$  della moto.

La resistenza all'avanzamento di un motoveicolo è data dall'attrito di rotolamento degli pneumatici, dagli attriti "meccanici" e dalla resistenza aerodinamica. Quest'ultima componente aumenta col quadrato della velocità di avanzamento, e finisce quindi per essere preponderante alle alte velocità, rispetto agli altri fattori.

La potenza assorbita nell'avanzamento assume quindi un andamento proporzionale al cubo della velocità (per la componente aerodinamica):

$$P_a = \frac{1}{2} c_x \rho_a v^3 S$$

$P_a$  Potenza assorbita;

$v$  Velocità di avanzamento;

$\rho_a$  Densità dell'aria.



La posizione del pilota influisce moltissimo sulla massima velocità raggiungibile dalla moto, poiché va a modificare la sezione frontale e la capacità di penetrazione aerodinamica.



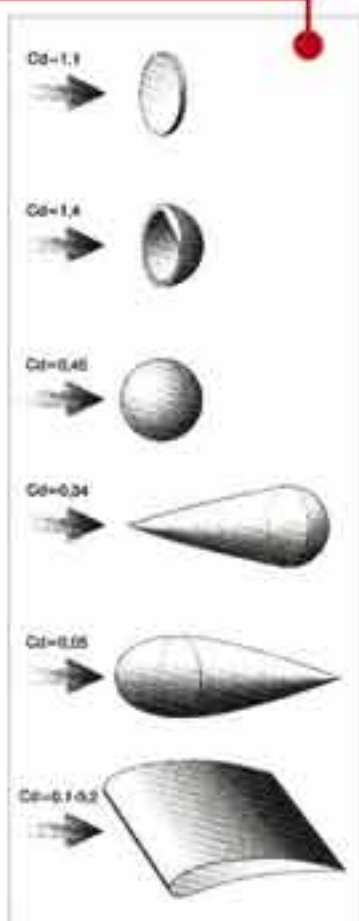
$c_x$  coefficiente di resistenza aerodinamica, valore adimensionale caratteristico della superficie considerata;

$S$  Sezione frontale del veicolo.

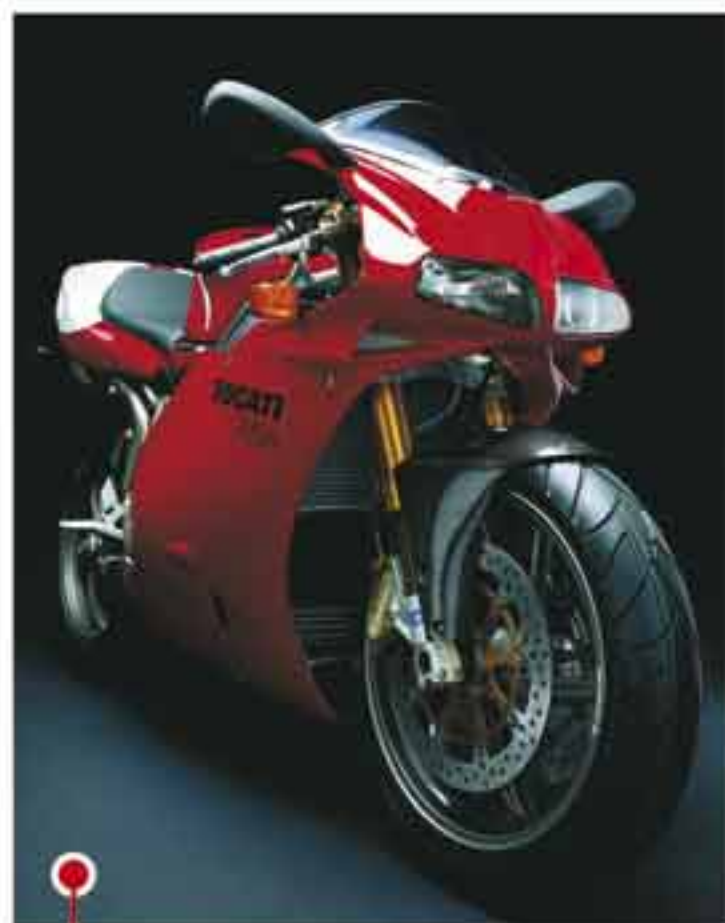
Inoltre la forza che l'aria esercita sulla moto, pensata come applicata nel centro di carenatura, genera un momento cabrante, che tende ad alleggerire l'avantreno, per cui occorre distribuire i pesi in modo che l'avantreno risulti sufficientemente caricato anche alle alte velocità. La carenatura di una moto ha pertanto il compito di migliorarne le caratteristiche aerodinamiche e di guidabilità, oltre a limitare la pressione dell'aria sul pilota.

La resistenza aerodinamica su un corpo in movimento nell'aria dipende dalla forma del corpo stesso. La forma che in assoluto presenta minore resistenza è quella a goccia, poiché è quella che meglio guida i flussi del fluido ed evita la formazione di vortici.

Nella 996R sono stati spostati gli sfoghi di calore rispetto alla 996: le carene sono ora completamente lisce e l'aria calda esce da due sottili feritoie davanti alle gambe del pilota.



Sulle moto racing si eliminano gli accessori necessari alla normale circolazione stradale (specchietti, fanali...), sia per migliorare il  $c_x$  (superfici più regolari) sia per ridurre l'area frontale; anche la carena è completamente diversa da quella di serie: la forma deve rimanere immutata, ma tutto il resto cambia. Dal comune materiale plastico si passa al carbonio, più leggero e rigido, gli attacchi al telaio sono più rapidi da smontare, vengono sigillate le cavità comprese tra radiatore e carena, allo scopo di aumentare la pressione dell'aria sulle superfici radianti e di migliorare il  $c_x$ . Le fiancate laterali sono il più possibile lisce ed allungate verso la parte posteriore del veicolo, in modo da ridurre la generazione di vortici e scie; sulla 996R inoltre sono stati spostati gli sfoghi di calore nelle carene rispetto alla 996: le carene sono ora completamente lisce e l'aria calda esce da due sottili feritoie davanti alle gambe del pilota.



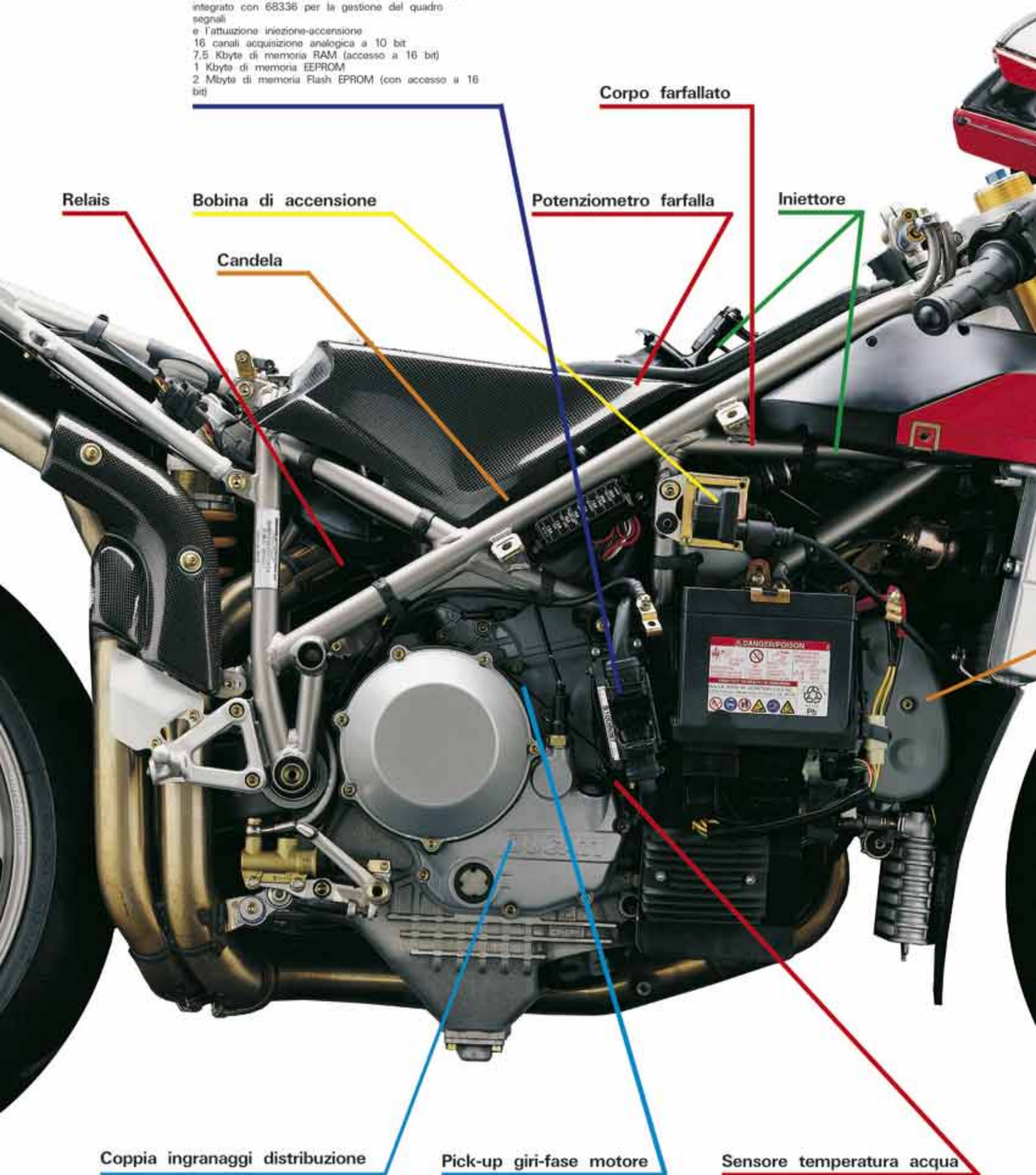
## Ducati 996 R Strada

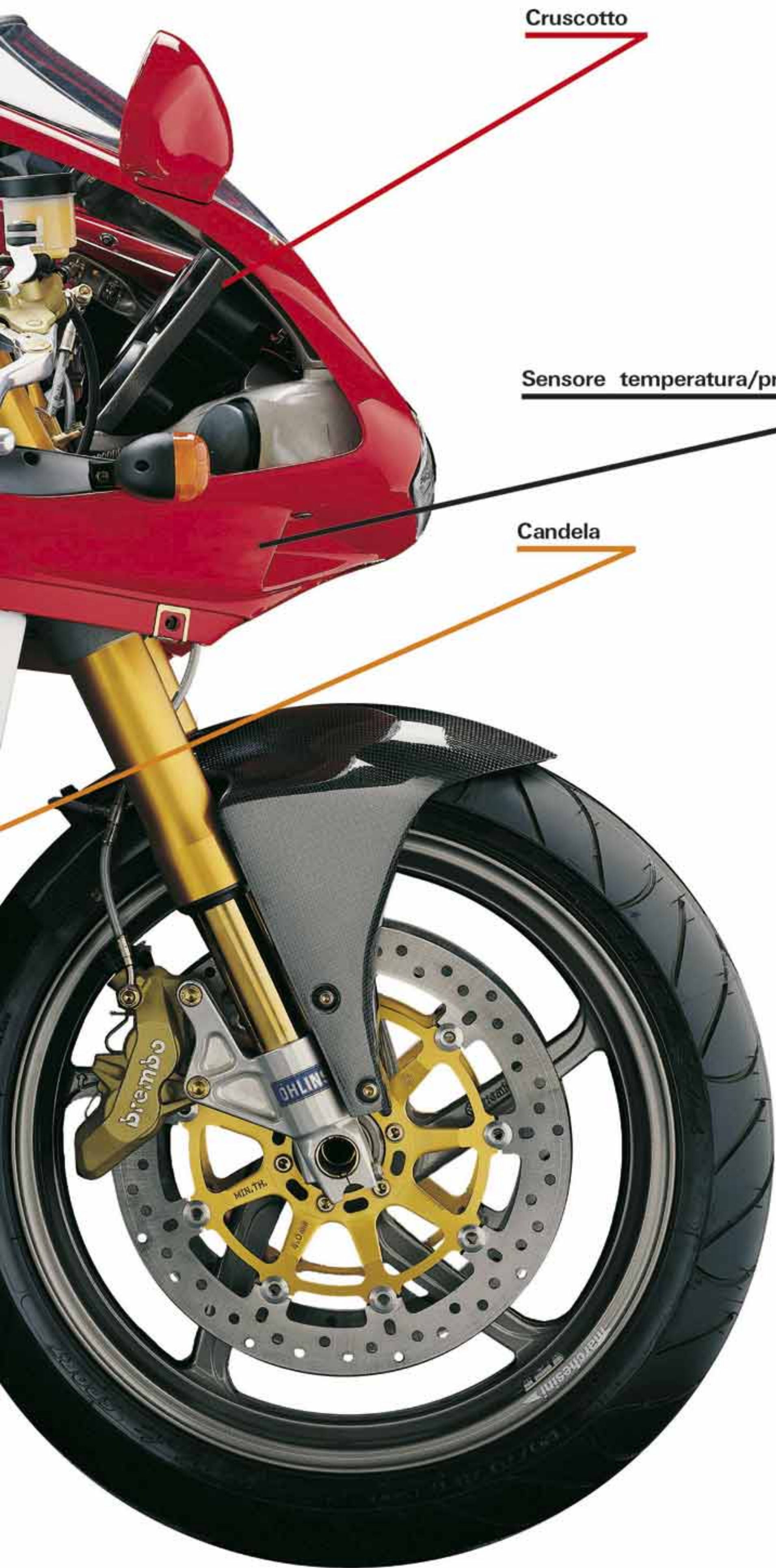


## ECU IAW59M

### Caratteristiche Hardware

microprocessore ALTAIR MC 68376, 32 bit, 20 Mhz  
integrato con 68336 per la gestione del quadro  
segnali  
e l'attuazione iniezione-accensione  
16 canali acquisizione analogica a 10 bit  
7,5 Kbyte di memoria RAM (accesso a 16 bit)  
1 Kbyte di memoria EEPROM  
2 Mbyte di memoria Flash EPROM (con accesso a 16  
bit)





Cruscotto

Sensore temperatura/pressione aria

Candela



# Ducati 996 R SBK

## DASH BOARD Mt940

### Descrizione generale:

Indicatore grafico giri motore ad 81 segmenti  
configurabile in scala non lineare  
1 indicatore a 6 caratteri alfanumerici  
3 indicatori a 3 cifre  
1 indicatore a 4 cifre  
Connessione diretta a 4 sensori  
2 LED di allarme integrati  
2 uscite per LED di allarme esterni  
3 diversi layout di visualizzazione intercambiabili tramite  
pulsante in tempo reale  
1 linea di comunicazione CAN  
Possibilità di funzionamento in stand-alone o DIBUS  
(comandato via CAN)

### Funzionamento DIBUS

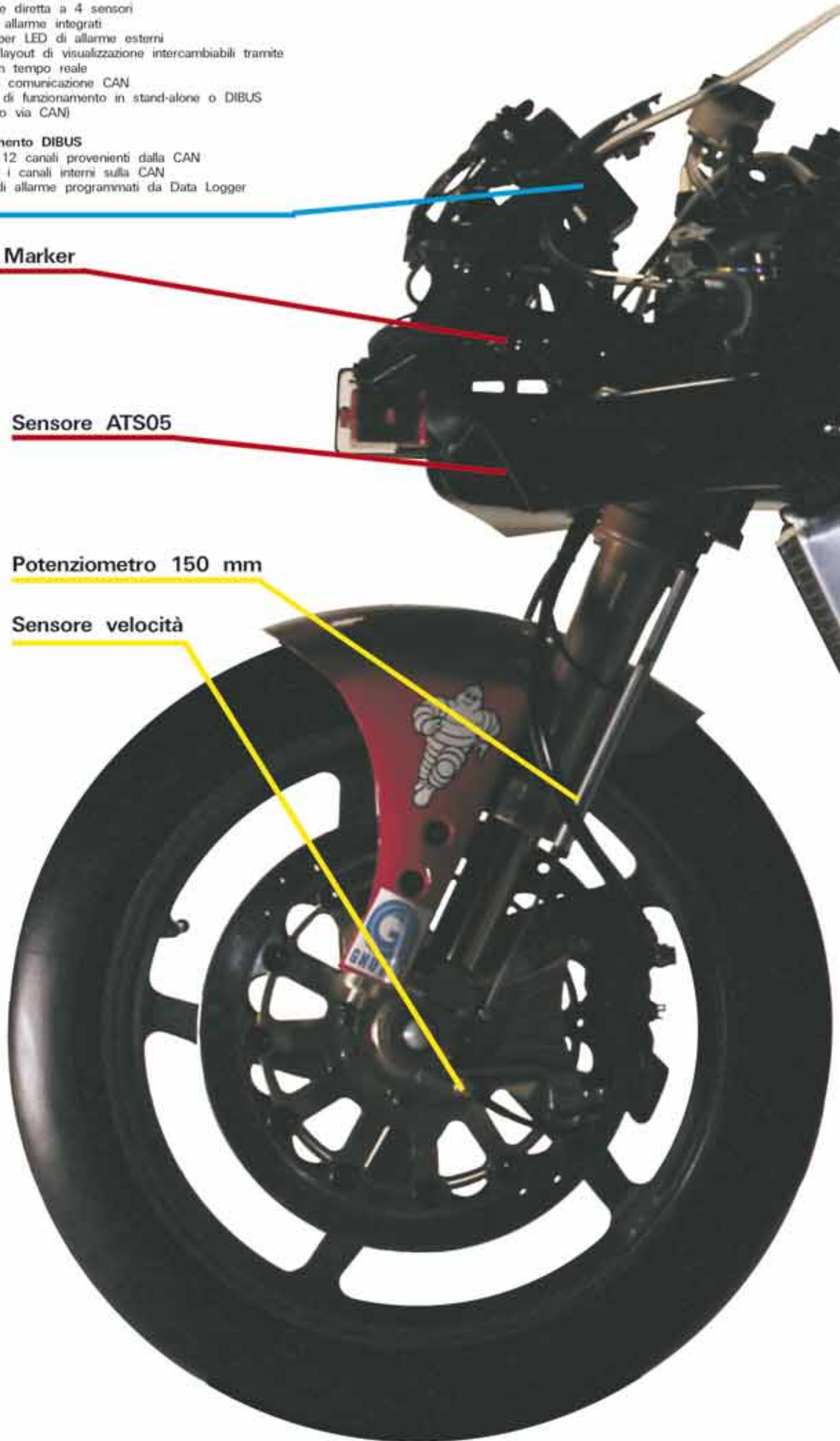
Visualizza 12 canali provenienti dalla CAN  
Trasmette i canali interni sulla CAN  
8 canali di allarme programmati da Data Logger

## Track Marker

### Sensore ATS05

### Potenziometro 150 mm

### Sensore velocità



## DATA LOGGER MT 310

24 Mbyte di memoria  
frequenza di campionamento fino a 1 MHz  
fino a 200 canali  
fino a 40 Kbyte/sec di dati in ingresso  
16 ingressi analogici  
4 ingressi di velocità delle ruote  
2 linee di comunicazione CAN  
1 connettore 10baseT per collegamento Ethernet (1Mbit/sec)

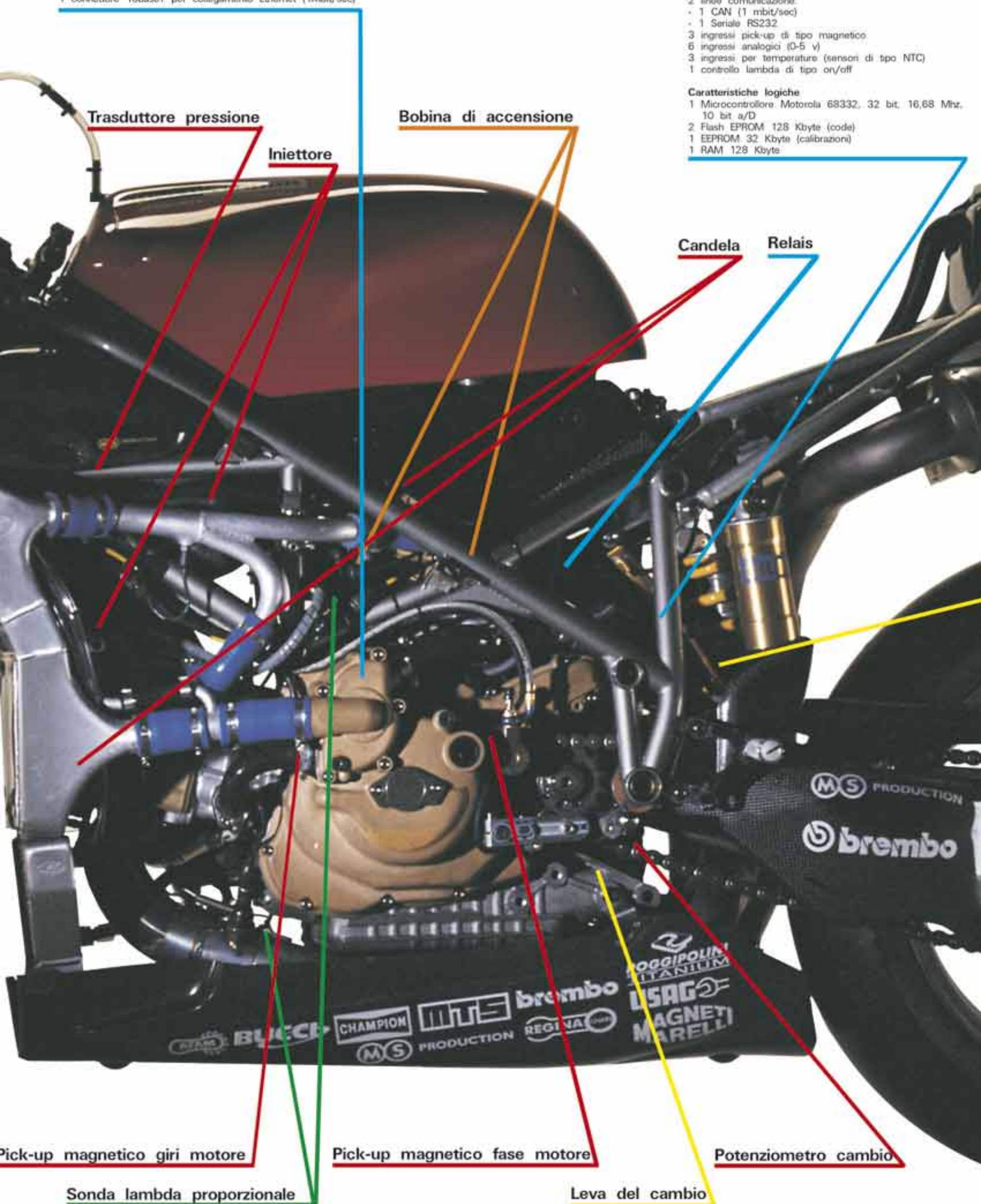
## ECU MF3S

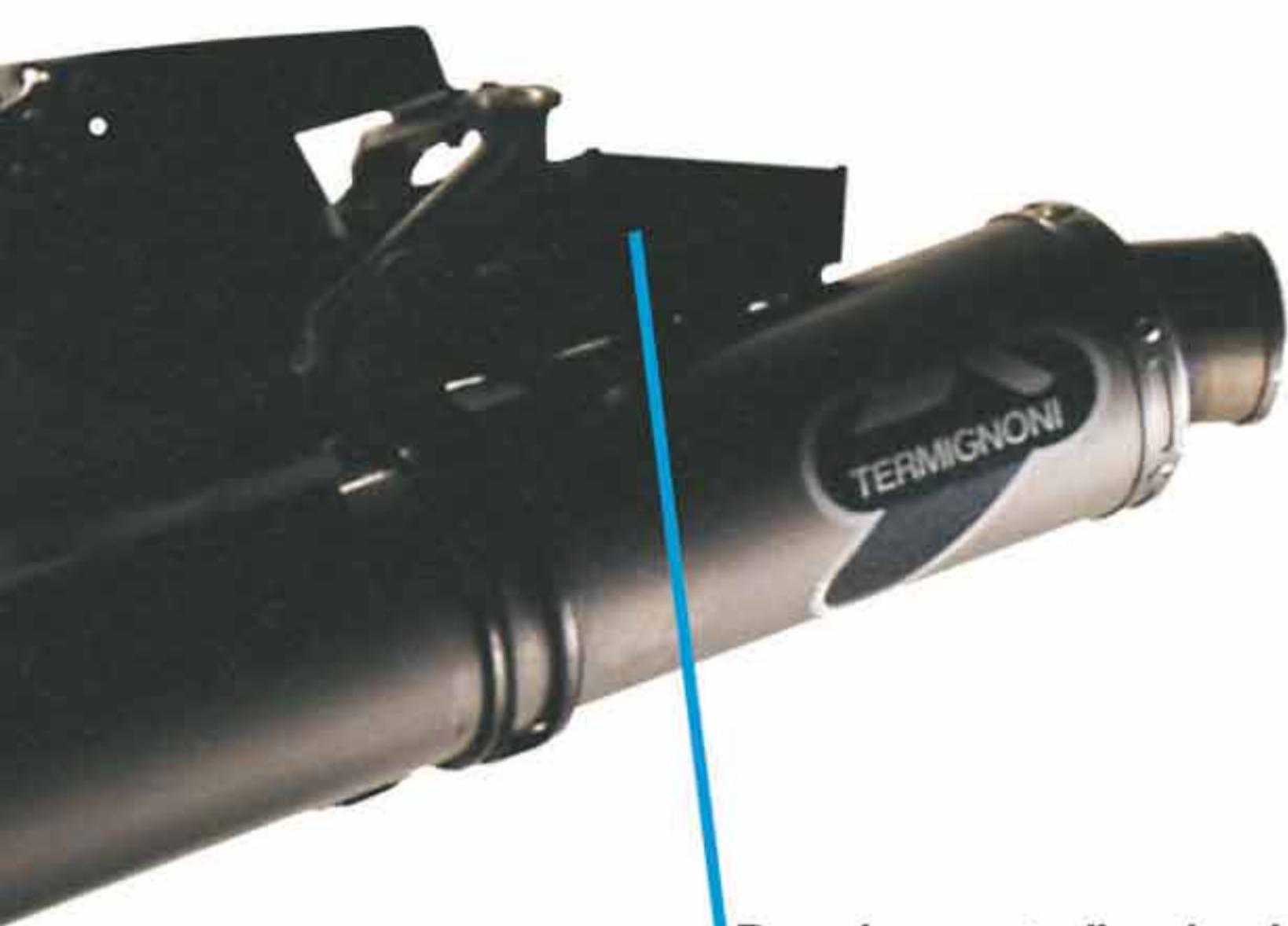
### Caratteristiche hardware

8 canali per il controllo degli iniettori  
3 sistemi di accensione induttiva  
2 uscite ausiliarie (fino a 3 ampere)  
2 uscite di riferimento (5 v)  
1 segnale rpm in uscita  
1 comando pompa carburante  
2 linee comunicazione:  
- 1 CAN (1 mbit/sec)  
- 1 Seriale RS232  
3 ingressi pick-up di tipo magnetico  
6 ingressi analogici (0-5 v)  
3 ingressi per temperatura (sensori di tipo NTC)  
1 controllo lambda di tipo on/off

### Caratteristiche logiche

1 Microcontrollore Motorola 68332, 32 bit, 16,68 Mhz, 10 bit A/D  
2 Flash EPROM 128 Kbyte (code)  
1 EEPROM 32 Kbyte (calibrazioni)  
1 RAM 128 Kbyte





Doppio controller lambda



Potenziometro 75 mm

