

11 Meccanica del motore

11.1 Basamento, cilindro, testata

Basamento, cilindro e testata accolgono il manovellismo, guidano il pistone nel cilindro e costituiscono, insieme al pistone, la camera di combustione.

11.1.1 Il blocco motore

Il blocco motore dei motori raffreddati a liquido è costituito dalla parte superiore del basamento e dal blocco cilindri, fusi insieme in un pezzo unico.

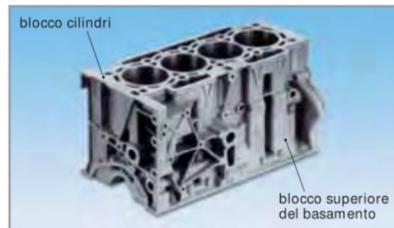


Figura 1: Blocco motore

I materiali utilizzati sono i seguenti:

- **ghisa a grafite lamellare (ghisa grigia).** Oltre a una buona rigidità e resistenza e alle buone proprietà antifrizione e antiusura, essa presenta una ridotta dilatazione termica e un buon assorbimento dei rumori;
- **ghisa a grafite vermicolare.** Con il raffreddamento della ghisa, la grafite non precipita sotto forma di lamelle, ma sotto forma vermicolare. L'effetto intaglio tra i cristalli della matrice è inferiore a quello della ghisa grigia, con conseguente miglioramento della rigidità e stabilità. Ciò significa che è possibile sopportare maggiori pressioni interne ai cilindri a parità di spessore di parete, oppure ridurre il peso con pareti più sottili;
- **leghe di alluminio.** I vantaggi principali sono la ridotta densità rispetto alla ghisa grigia e la buona conducibilità termica. Per migliorare la rigidità, i blocchi dei cilindri sono provvisti di nervature. Le proprietà antiusura delle superfici di scorrimento dei cilindri devono essere ottimizzate mediante particolari trattamenti o mediante l'applicazione di camicie.

11.1.1.1 Il basamento

Nel basamento ha sede l'albero motore.

Essendo elevate le forze e le coppie che agiscono sull'albero motore, alloggiato all'interno del basamento, quest'ultimo deve possedere una notevole stabilità e rigidità.

Struttura. In genere, il basamento è diviso all'altezza dei cuscinetti di banco. La parte superiore contiene i cuscinetti di banco dell'albero motore. I cappelli di banco sono fissati dal basso tramite bulloni. Questa costruzione offre il vantaggio di poter facilmente smontare l'albero motore o i singoli pistoni. Nei motori che producono coppie particolarmente elevate, si utilizzano, anziché i semicuscinetti singoli, i cosiddetti bed plate (fig. 2), ossia dei componenti simili a una piastra che collegano tra loro tutti i semicuscinetti del motore. Tale collegamento conferisce maggiore rigidità al basamento.

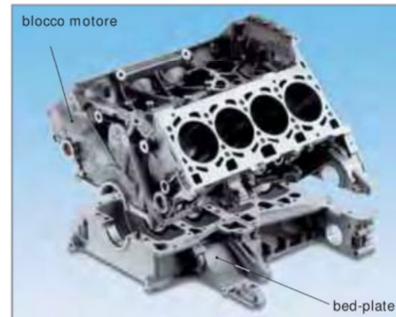


Figura 2: Blocco motore con bed-plate

La parte inferiore del basamento forma la coppa dell'olio ed è fissata ermeticamente alla parte superiore.

11.1.1.2 Il cilindro

I cilindri dei motori raffreddati a liquido sono realizzati in un unico blocco.

Sollecitazioni

- Elevate pressioni di combustione ed elevate temperature.
- Elevate tensioni termiche dovute al brusco cambiamento di temperatura.

- Usura della superficie di scorrimento del cilindro dovuta allo sfregamento del pistone e ai residui della combustione.
- Maggiore attrito in fase di avviamento a freddo, dal momento che il carburante non bruciato elimina lo strato lubrificante dalla parete del cilindro.

Caratteristiche dei materiali

- Buona conducibilità termica.
- Elevata resistenza all'usura.
- Buone proprietà antifrizione per la superficie di scorrimento dei cilindri.

Struttura. Il blocco cilindri a pareti doppie è attraversato da canali di raffreddamento. Il liquido di raffreddamento è messo in circolazione dalla pompa dell'acqua, raffredda le pareti del cilindro e scorre in direzione della testata attraverso i canali di passaggio.

Si distingue tra diverse forme costruttive.

Blocco cilindri di tipo "open-deck" (fig. 1).



Figura 1: Blocco cilindri di tipo "open-deck"

La camera di raffreddamento che avvolge i cilindri è aperta verso la testata. I blocchi cilindri, pertanto, sono prodotti con superfici di scorrimento. La minore rigidità del blocco motore di tipo "open-deck", rende necessario l'impiego di una guarnizione della testata in metallo. Grazie al ridotto assetamento di queste guarnizioni, la coppia di serraggio può essere minore, a tutto vantaggio di una minor deformazione della testa e dei cilindri.

Blocco cilindri di tipo "closed-deck" (fig. 2).



Figura 2: Blocco cilindri di tipo "closed-deck"

Il piano di tenuta del blocco è chiuso sul lato della testata, ad eccezione dei condotti di lubrificazione e di raffreddamento.

Se realizzato in AISI, è prodotto tramite colata in conchiglia o colata a bassa pressione.

Blocco cilindri con camicie. Le camicie del cilindro, in ghisa grigia a grana fine di ottima qualità (colata centrifuga), sono inserite in blocchi cilindri prodotti in ghisa o in lega di Al. Poiché hanno una maggiore resistenza all'usura rispetto alle superfici di scorrimento dei blocchi cilindri in ghisa, essi garantiscono una maggior durata.

Si distinguono camicie del cilindro umide e camicie a secco.

Le camicie umide (fig. 3) sono a diretto contatto con il liquido di raffreddamento, consentendo così un raffreddamento ottimale. Esse possono essere sostituite singolarmente.

Il blocco cilindri però è meno robusto e si deforma più facilmente. Le camicie hanno un colletto sull'estremità superiore; verso il basamento devono essere accuratamente chiuse a tenuta stagna, con guarnizioni toroidali per evitare il passaggio del liquido di raffreddamento nel basamento.

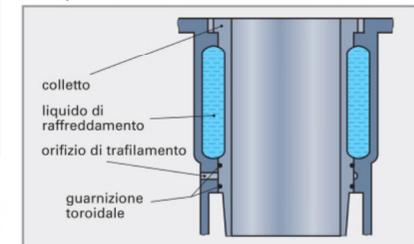


Figura 3: Camicia del cilindro a umido

Le camicie a secco (fig. 4) sono camicie a parete sottile e vengono montate nel blocco cilindri mediante accoppiamento di scorrimento o accoppiamento bloccato. Non essendo a diretto contatto con il liquido di raffreddamento, la trasmissione del calore al liquido di raffreddamento non è così efficace come nelle camicie umide. Le camicie

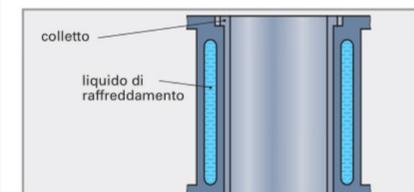


Figura 4: Camicia del cilindro a secco

con accoppiamento di scorrimento sono rifinite prima del montaggio, mentre le camicie con accoppiamento bloccato sono prima pressate negli appositi fori di alloggiamento ricavati nel blocco cilindri e, in seguito, sottoposte ad alesaggio di precisione e levigatura.

Cilindri raffreddati ad aria

I cilindri raffreddati ad aria (fig. 1) sono provvisti di alette di raffreddamento per aumentare la superficie a contatto con l'aria e, quindi, l'azione di raffreddamento. Sono fissati al basamento sotto forma di singoli cilindri dotati di alette. I cilindri raffreddati ad aria sono fusi in genere in leghe di Al.



Figura 1: Cilindro raffreddato ad aria prodotto con fusione mista Fe-Al

11.1.1.3 Superfici di scorrimento dei cilindri

Poiché le superfici di scorrimento dei cilindri in alluminio non soddisfano i requisiti in termini di proprietà antifrizione e antiusura, queste ultime devono essere migliorate attraverso opportuni trattamenti. In caso contrario, le superfici di scorrimento vengono realizzate in colata.

Processo di fusione mista ferro-alluminio (procedimento Alfin). La superficie esterna delle camicie in ghisa a grafite lamellare viene ricoperta da uno strato di ferro-alluminio ($FeAl_3$) e, in seguito, rivestita tramite fusione con una lega di AlSi, al fine di ottenere un cilindro dotato di alette. Lo strato intermedio di ferro-alluminio consente un accoppiamento ottimale e una buona conduttività termica fra la camicia interna in ghisa e il rivestimento esterno con alette in lega AlSi.

Procedimento ALUSIL. Il blocco cilindri viene fuso in lega di Al ad alto contenuto di silicio (fino al 18%) mediante colata in conchiglia o a bassa pressione. Affinché si formino i cristalli di silicio, soprattutto sulle superfici di scorrimento dei cilindri, le anime che costituiscono la forma dei cilindri stessi vengono raffreddate. Dopo la levigatura si asporta l'alluminio morbido situato attorno ai cristalli di silicio mediante attacco elettrolitico. Così facendo, si forma un substrato di scorrimento resistente all'usura, provvisto di opportuni interstizi per l'olio lubrificante. Per diminuire l'usura del pistone, si utilizzano in genere pistoni con rivestimento "Ferrocoat".

Procedimento NIKASIL. La superficie di scorrimento del cilindro in lega di AlSi viene rivestita tramite un processo galvanico con uno strato resistente all'usura in nichel con cristalli di carburo di silicio.

Procedimento LOKASIL. I cristalli di silicio sono depositati sulla superficie di scorrimento del cilindro con l'ausilio di stampi, detti anche canne prefabbricate. Le canne prefabbricate (fig. 2) hanno una superficie esterna altamente porosa e sono costituite da cristalli di silicio che vengono cotti insieme a silicati di potassio (silicati sciolti in acqua). Una volta realizzate sotto forma di cilindri cavi, sono inserite nello stampo da fonderia dove si trova la superficie di scorrimento. Mediante uno speciale procedimento di pressofusione, chiamato "squeeze casting" (squeeze = schiacciare), la lega di Al è pressata lentamente, a bassa pressione, dal fondo all'interno dello stampo in posizione verticale.



Figura 2: Procedimento LOKASIL

Per poter essere utilizzate, le canne prefabbricate devono essere preriscaldate a 300 °C in maniera tale che la lega di Al non si raffreddi e non si solidifichi in fase di penetrazione prima del completo riempimento delle canne. Da ultimo, l'incremento della pressione da 120 a 500 bar chiude tutti i pori ed elimina l'eventuale aria presente all'interno. Mediante lappatura a stadi successivi, i cristalli duri di silicio vengono portati in superficie, dando origine a una parete del cilindro resistente all'usura. In abbinamento a questi tipi di cilindro, si utilizzano in genere pistoni con rivestimento "Ferrocoat".

Procedimento PTWA (Plasma Transferred Wire Arc). In questo caso, sulla lega di AlSi del cilindro è realizzata una superficie di scorrimento mediante termospruzzatura. All'interno dell'alesaggio del cilindro, si aggiungono, a un generatore al plasma, fili di ferro e carbonio che, una volta fusi con arco in goccioline di metallo, sono spruzzati ad alta velocità sulla parete del cilindro per mezzo di un flusso di gas a pressione. Sulla parete del cilindro si forma uno strato di ferro nanocristallino dello spessore di circa 0,3 mm e con una porosità del 2% circa, che funge da bacino di raccolta dell'olio. Come ultima lavorazione, è sufficiente una finitura superficiale. Il risultato è una superficie a specchio con bassi coefficienti di attrito e un'elevata resistenza all'usura.

11.1.2 La testata

La testata chiude ermeticamente la parte superiore della camera di combustione. È fissata al blocco motore mediante apposite viti con interposta una guarnizione.

Struttura. Nella testata sono presenti i passaggi per la miscela aria-benzina e per i gas di scarico, con le relative valvole, e in genere anche la camera di compressione. Nella testata sono pure alloggiati le candele d'accensione e gli elementi della distribuzione, quali punterie, bilancieri e sempre più frequentemente l'albero a camme. Dovendo sopportare la pressione di combustione e far fronte a elevate temperature, la testata deve presentare un'elevata rigidità, una buona conducibilità termica e una ridotta dilatazione.

Testata raffreddata a liquido (fig. 1). Viene realizzata perlopiù in lega di alluminio, singolarmente per ciascun cilindro o, più raramente, in un pezzo unico per l'intero blocco. Tramite appositi canali che attraversano la guarnizione della testata, il liquido di raffreddamento circola dal blocco cilindri in direzione della testata.



Figura 1: Testata raffreddata a liquido

Testata raffreddata ad aria. È prodotta esclusivamente in leghe di alluminio ed è dotata di alette di raffreddamento.

Queste ultime servono a ingrandire la superficie di raffreddamento, dal momento che la conducibilità termica dell'aria è peggiore rispetto a quella dell'acqua.

Camera di compressione

È il volume libero lasciato tra la testata e il pistone al punto morto superiore. In alcuni casi è ricavata parzialmente nel cielo del pistone.

La forma geometrica della camera di compressione influisce significativamente:

- sul rapporto fra superficie e volume;

- sulla posizione della candela e dell'iniettore;
- sulla turbolenza della miscela;
- sul processo di combustione;
- sulla resistenza alla detonazione;
- sul rapporto di compressione raggiungibile;
- sulla disposizione delle valvole.

La camera di compressione influisce sia sul rendimento, e quindi sulla potenza, sulla coppia e sul consumo di carburante, sia sull'emissione dei gas di scarico.

Nel definire una camera di compressione ideale, i criteri considerati sono i seguenti.

- Ampie sezioni di apertura delle valvole. Consentono un miglior riempimento (rendimento volumetrico) e, di conseguenza, maggior coppia motrice e potenza.
- I gas combusti devono poter fuoriuscire dalle valvole di scarico in maniera rapida e possibilmente completa.
- Percorso di combustione breve. Grazie alla candela al centro, il percorso del fronte di fiamma è ridotto. In questo modo si accelera la combustione, influenzando positivamente sulla potenza e sui valori di emissioni nocive.

• Zone di schiacciamento. La miscela aria-carburante è sottoposta a turbolenze, con conseguente combustione più rapida, che comporta una maggiore potenza e una minore emissione di gas nocivi. Se di dimensioni eccessive, tuttavia, le zone di schiacciamento possono causare un aumento dei valori HC (idrocarburi incombusti). Le eventuali particelle di carburante che si trovano in prossimità della zona di schiacciamento, infatti, possono non essere raggiunte dal fronte di fiamma. Di conseguenza, non prendono parte alla combustione, se non parzialmente.

• Camera di combustione compatta (non contorta, senza nicchie e con superficie ridotta rispetto al volume). In questo modo si evita la presenza di zone fredde all'interno della camera di combustione. Il processo di combustione è completo e si ottengono valori di HC ridotti. In genere, inoltre, la forma compatta incrementa il rapporto di compressione e riduce la tendenza alla detonazione.

La forma ottimale per una camera di compressione sarebbe pertanto quella emisferica, che garantisce un rapporto superficie/volume favorevole e un percorso del fronte di fiamma molto breve. A causa della disposizione delle valvole, è purtroppo necessario modificare questa forma ideale.

Testata con due valvole (fig. 1). Ha una forma a tetto (^) che ricorda un'emisfera. La valvola d'aspirazione e quella di scarico sono disposte a V l'una di fronte all'altra, permettendo così un flusso trasversale. La valvola di aspirazione ha, in genere, un diametro maggiore rispetto a quella di scarico e rende quindi possibile un migliore riempimento.

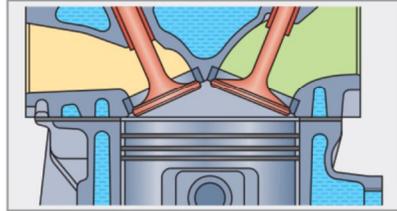


Figura 1: Camera di compressione a tetto

Poco prima del punto morto superiore, l'aria o la miscela aria-carburante è spinta fuori dalle zone di schiacciamento. Le turbolenze che si creano generano una miscelazione più intensa tra il carburante iniettato e l'aria, generando una combustione più rapida e una riduzione del ritardo di combustione, che permettono di utilizzare una candela più fredda, un rapporto di compressione più elevato, così come una benzina con meno ottani. Grazie alla combustione completa, si può ridurre il contenuto di HC nei gas di scarico.

Testata multivalvole. In questo caso le tipologie comunemente in uso sono diverse:

N. valvole	Valvole di aspirazione	Valvole di scarico
3	2	1
4	2	2
5	3	2

La sezione di apertura totale delle valvole di aspirazione è sostanzialmente più grande di quella delle valvole di scarico, dal momento che è più difficile riempire completamente il cilindro con gas fresco anziché scaricare i gas combusti. Nella configurazione due valvole di aspirazione - una valvola di scarico, il diametro della valvola di scarico è maggiore rispetto a quello delle valvole di aspirazione.

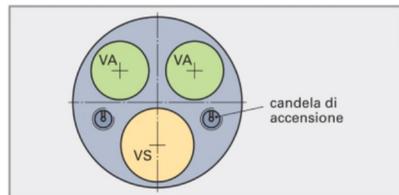


Figura 2: Testata con tre valvole

La camera di compressione può essere approssimativamente di forma emisferica. Attraverso la disposizione delle valvole, due candele di accensione possono essere posizionate in modo tale da accelerare la combustione (fig. 2). Nella configurazione due valvole di aspirazione - due valvole di scarico, la camera di compressione è a tetto o a vasca, mentre le valvole di aspirazione sono più grandi di quelle di scarico. A parità di diametro del cilindro, è possibile ottenere sezioni di apertura maggiori rispetto ai motori a tre valvole. In genere, inoltre, presenta due zone di schiacciamento poste una di fronte all'altra. La disposizione centrale della candela di accensione o dell'iniettore permette di ottenere brevi fronti di fiamma e una maggiore velocità di combustione. I vantaggi sono un incremento di potenza, un minore consumo di carburante e minori emissioni nocive (fig. 3).

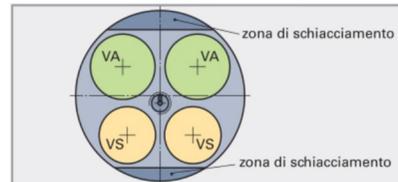


Figura 3: Camera di compressione a tetto con 4 valvole e 2 zone di schiacciamento

Nella configurazione a cinque valvole (tre valvole di aspirazione, due di scarico) la camera di compressione è di forma sferica, dal momento che il diametro del fungo diminuisce.

11.1.3 La guarnizione della testata

La superficie d'appoggio del blocco cilindri e della testata deve essere chiusa ermeticamente dalla guarnizione della testata che è sottoposta alle seguenti sollecitazioni:

- chimiche, in seguito alla presenza di componenti aggressivi del carburante e di gas combusti all'interno dei cilindri;
- termiche, in seguito alle alte temperature di combustione e alla miscela aria-carburante fredda aspirata;
- meccaniche, in seguito al passaggio repentino da un regime di sovrappressione, durante la fase di compressione e combustione, a uno di depressione, in fase di aspirazione.

La guarnizione della testata deve pertanto soddisfare i seguenti requisiti:

- adattamento elastico delle superfici di tenuta a tutte le condizioni d'esercizio;
 - ridotta tendenza all'assettamento, in modo da evitare la necessità di un ulteriore serraggio.
- I tipi di guarnizione utilizzati sono i seguenti:
- guarnizioni della testata in metallo e materiale sintetico morbido, le più utilizzate;

- guarnizioni della testata in metallo, destinate ai motori diesel ad alta potenza, ai motori Diesel di veicoli industriali e ai motori a ciclo Otto.

Guarnizione della testata in metallo e materiale sintetico morbido (fig. 1). Una lamiera portante metallica dello spessore di circa 0,3 mm è provvista di denti di graffatura, che fissano il materiale sintetico morbido su entrambi i lati. Su questo materiale è applicato un rivestimento impermeabile per migliorarne la resistenza nei confronti delle sostanze con le quali è in contatto. Il bordo degli alesaggi è rinforzato, per esempio con una lamiera d'acciaio placcata d'alluminio. La tenuta stagna nei passaggi dei liquidi può essere ulteriormente migliorata tramite un rivestimento in elastomero.



Figura 1: Guarnizione della testata in metallo e materiale sintetico morbido

Guarnizione della testata in metallo (fig. 2). È, in genere, una guarnizione multistrato in lamiera d'acciaio. Per aumentare l'ermeticità, è necessario creare delle nervature o applicare dei bordi di lamiera in modo da aumentare la pressione in determinati punti. In corrispondenza dei passaggi dei liquidi, la tenuta stagna è aumentata anche da rivestimenti in elastomero.

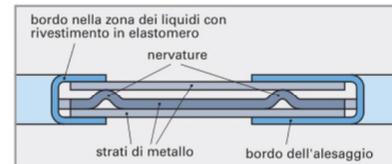


Figura 2: Guarnizione della testata in metallo

11.1.4 Il supporto del motore

I supporti dei motori devono essere in grado di sostenere il peso del motore e, nello stesso tempo, di assorbirne le vibrazioni, impedendone la diffusione verso la carrozzeria. Inoltre, devono essere concepiti in modo da sopportare le coppie positive e negative dovute alle accelerazioni e alle decelerazioni.

Come supporti motore si utilizzano giunti in gomma-metallo (silentbloc) o supporti con ammortizzatore idraulico (supporti idraulici).

Ammortizzatore idraulico (fig. 3). Con motore al minimo, la pressione creata dalle vibrazioni del motore nel fluido idraulico della camera superiore agisce unicamente sulla membrana di gomma, che si deforma ammortizzando le vibrazioni. L'aria fuoriesce dall'apposito cuscinetto d'aria attraverso l'elettrovalvola aperta. A motore sotto carico, l'elettrovalvola è chiusa. La pressione nel fluido idraulico, passando attraverso il canale calibrato, agisce sul soffiato in gomma (posto nella camera inferiore) deformandolo e smorzando in tal modo le vibrazioni.

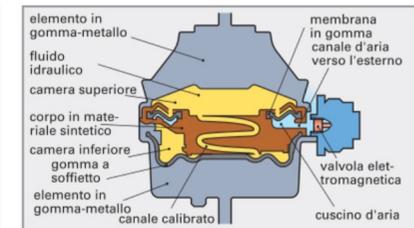


Figura 3: Ammortizzatore idraulico

11.1.5 Le viti della testata

Le viti della testata collegano, tramite la guarnizione interposta, la testata al blocco motore. Attraverso il loro opportuno serraggio, generano la pressione superficiale necessaria a garantire la tenuta stagna. In genere si utilizzano viti estensibili che, sollecitate oltre il loro limite di snervamento, vengono sottoposte a deformazione plastica.

Caratteristiche e vantaggi delle viti estensibili:

- consentono di rispettare con precisione i precarichi ($\pm 10\%$);
- consentono di ottenere forze di serraggio elevate con sezioni ridotte;
- non richiedono un ulteriore serraggio.

In fase di montaggio, si utilizza spesso il metodo di serraggio combinato, con cui le viti sono inizialmente serrate in uno o due stadi mediante una chiave dinamometrica, applicando una coppia predefinita, dopodiché - trascorso un determinato tempo di assestamento - sono nuovamente ruotate di un angolo prestabilito.

Questo metodo, se paragonato al classico serraggio con chiave dinamometrica, consente di rispettare con maggior precisione i precarichi. Poiché, una volta fissate, le viti della testata rimangono costantemente oblunghe (deformazione plastica), in genere - a seconda delle specifiche di fabbricazione - possono essere utilizzate una sola volta.

Regolazione del motore

Controllo dinamico della compressione (confronto tra le pressioni di compressione nei singoli cilindri)
Se si fa il sospetto che la compressione in uno o più cilindri del motore sia insufficiente, è bene controllare i rapporti di pressione dei cilindri misurando un testata miscelata: la fluttuazione del numero di giri dell'albero motore durante la fase di compressione, da la differenza rispetto al numero di giri medio dell'albero motore durante la fase di compressione di un cilindro a rilevare, significa che la compressione è elevata.

Alcuni tester determinano il rapporto di pressione in base all'assorbimento di corrente del motore in avviamento (fig. 1). In questo caso, un assorbimento di corrente elevato in fase di compressione indica una compressione elevata. Con questa procedura, tuttavia, non è possibile rilevare i valori effettivamente raggiunti. Nella figura sono rappresentati quattro diversi eventi: medio e basso compressione.



Figura 1 Assorbimento di corrente del motore in avviamento durante un ciclo motore a 4 cilindri

Misurazione della pressione di compressione

Si utilizza un apposito manometro (fig. 2).



Figura 2 Manometro per il controllo della compressione

Durante il controllo è necessario rispettare i seguenti punti:

- effettuare il controllo alla temperatura di funzionamento del motore e prestare attenzione ai componenti ad elevata temperatura;
• disattivare l'impianto di accensione e iniezione (seguire le istruzioni della casa costruttrice);
• inserire la sonda nel dispositivo in modo tale che l'ago scivoli ed è posizionato in corrispondenza del cilindro 1.

• smontare tutte le candele di accensione e far girare brevemente il motore con il motore d'avviamento per eliminare eventuali residui della combustione.

- introdurre il cavo di gamma del manometro nella sede della candela del primo cilindro e aprire brevemente la testata accelerando;
• azionare il motore di avviamento per circa 2-4 secondi prestando attenzione agli elementi in rotazione;
• scaricare il manometro e spostare la sonda in corrispondenza del cilindro 2.

Se la camera di combustione si trovano in buone condizioni, il valore della compressione misurato nei diversi cilindri deve avere una variazione minima (a massima 2 bar). Le pressioni misurate non dovrebbero essere inferiori al valore di riferimento di oltre il 10-15%.

Conclusioni sulle possibili cause dell'anomalia:

- qualora in tutti i cilindri sia rilevata una pressione elevata, il motore è usurato (fig. 3).



Figura 3 Motore usurato

• se la pressione di compressione nei singoli cilindri si scaricano l'una dall'altra (fig. 4), il più realistico difetto inserendo una piccola quantità di aria motore nella camera di combustione del cilindro che il testata rilevare, in questo caso il testata.



Figura 4 Bassa a un singolo cilindro

Se il valore della pressione di compressione è aumentato, si è in presenza di un'usura della parete del cilindro o delle fasce elastiche del pistone. Se invece non si verifica nessun aumento, il difetto può risiedere nella valvola o nella rispettiva sede, nella guida della valvola, nella testata o nella guarnizione della testata.

CONTINUA DA PAGINA 216

- se due cilindri adiacenti hanno la stessa pressione di compressione, ma significativamente più bassa di quella degli altri cilindri, è possibile che ci sia un'incrinatura della testata o che la guarnizione della testata fra i due cilindri non sia stagna.

Controllo della perdita di pressione (fig. 1)

In seguito al controllo della pressione di compressione, se si ipotizza un difetto di tenuta nel cilindro, si effettuano le seguenti operazioni:

- posizionare il pistone del cilindro che ci si accinge a controllare al punto morto superiore (PMS) in fase di accensione;
• collegare il tester per la perdita di pressione a una fonte di aria compressa (5-10 bar) e calibrarlo mediante vite a testa zigrinata;
• collegare il tester al filetto della candela di accensione del cilindro;
• la perdita di pressione dovuta al difetto di tenuta è indicata in percentuale sul manometro e non deve superare i valori prescritti dal costruttore del tester;
• in caso di eccessiva mancanza di ermeticità, si può individuare il difetto rilevando il punto di fuoriuscita dell'aria.

Conclusioni sulle possibili cause dell'anomalia.

- Rumori di fuoriuscita d'aria dal condotto di aspirazione o dal condotto di scarico: valvola di aspirazione o scarico con difetto di tenuta.
• Rumori di fuoriuscita d'aria dal tappo di riempimento dell'olio o dall'apertura dell'astina di

controllo del livello dell'olio: perdita di ermeticità dovuta all'usura di pistoni, fasce elastiche e superficie di scorrimento del cilindro o guarnizione della testata difettosa.

- Bolle d'aria nel tappo di riempimento del radiatore o rumori di fuoriuscita d'aria dai fori delle candele del cilindro adiacente: guarnizione della testata non più ermetica, incrinature nella testata.

Usura delle superfici di scorrimento dei cilindri

In un motore nuovo, le superfici di scorrimento del cilindro sono perfettamente cilindriche. Con l'aumentare del tempo di funzionamento, si presenta una notevole usura e il pistone non è più in grado di assicurare l'ermeticità della camera di combustione. L'olio del motore può penetrare nella camera di combustione (alto consumo di olio) e il carburante può trafilare nel basamento (diluizione dell'olio). Di conseguenza, diminuiscono la compressione e la potenza del motore e aumenta il consumo di carburante. Il funzionamento del motore, inoltre, diventa più rumoroso a causa della scampatura dei pistoni. La superficie di scorrimento del cilindro fra il punto morto superiore e il punto morto inferiore (PMI) non si usura in modo regolare, in quanto la forza laterale del pistone diminuisce con il diminuire della pressione di combustione e la lubrificazione è peggiore nella zona del punto morto superiore.

Essendo massima l'usura nella zona del PMS, l'alesaggio del cilindro diventa conico (fig. 1a, pag. 218).

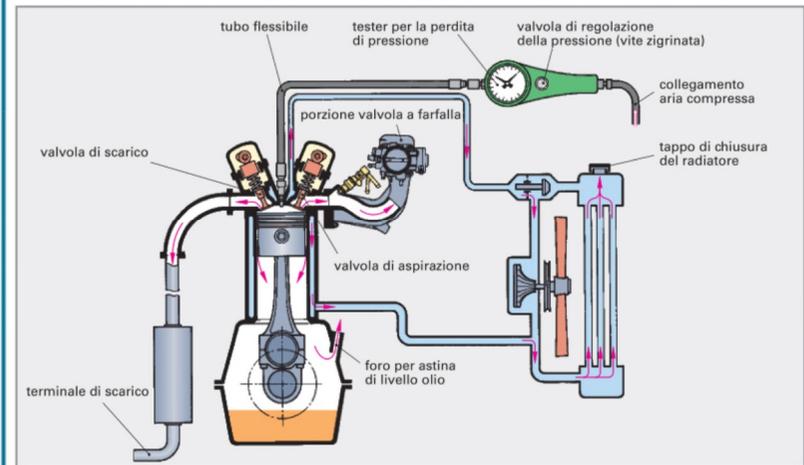


Figura 1: Controllo della perdita di pressione

CONTINUA DA PAGINA 217

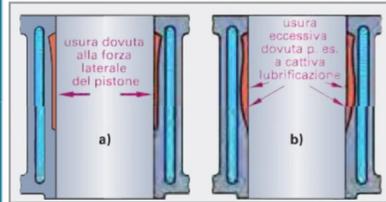


Figura 1: Usura normale e anomala della superficie di scorrimento del cilindro

In caso di usura irregolare, riconducibile a una cattiva lubrificazione, l'alesaggio del cilindro assume una forma bombata (fig. 1b). L'usura non avviene in modo regolare su tutta la circonferenza del cilindro, ma si presenta nel senso delle forze laterali, accentuata dalla scampanatura del pistone. L'usura normale è di circa 0,1-0,2 mm per 100.000 km.

Controllo della superficie di scorrimento del cilindro. L'usura della superficie di scorrimento del cilindro è misurata con un apposito strumento per interni dotato di comparatore (fig. 2). Per determinarne l'usura, bisogna effettuare misurazioni nel senso dell'asse dello spinotto e lungo la sua perpendicolare. Di norma, le misurazioni vengono effettuate circa 10 mm al di sotto del PMS, a metà tra PMS e PMI e circa 10 mm al di sopra del PMI.



Figura 2: Misurazione della superficie di scorrimento del cilindro

Determinazione del diametro esatto del cilindro. Si determina il diametro del cilindro mediante un calibro a corsoio (80,5 mm), poi si seleziona il tastatore corrispondente (80 mm). Così facendo, si ottiene un intervallo di misura compreso tra 79,5 e 81,5 mm. Successivamente, si calibra il comparatore con l'ausilio di un micrometro a vite, regolando quest'ultimo (per esempio, su 80,00 mm). Con il micrometro per interni si misura la distanza tra le superfici di contatto del micrometro a vite. Il comparatore è impostato su 0 (fig. 4).



Figura 3: Micrometro per interni con comparatore e tastatori

Dopo aver introdotto lo strumento di misura all'interno del cilindro, il micrometro per interni è fatto oscillare lungo un asse orizzontale perpendicolarmente alla direzione di misura (fig. 2). La più piccola deviazione leggibile sul comparatore equivale al diametro del cilindro. Per determinare il diametro occorre sottrarre o sommare dalla misura precedentemente impostata (80 mm) i centesimi di mm visualizzati, a seconda che il diametro del cilindro sia inferiore o superiore a 80 mm.

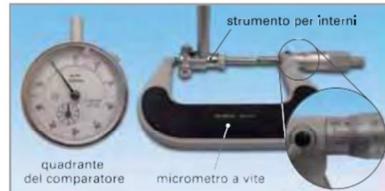


Figura 4: "Taratura" del comparatore

Trattamento della superficie di scorrimento del cilindro. La forma cilindrica deve essere ripristinata mediante alesatura di precisione o levigatura qualora l'usura sia pari a circa:

- 0,5 mm nei motori delle automobili;
- 0,8 mm nei motori Diesel dei veicoli industriali.

L'alesatura di precisione è effettuata, a seconda della maggiorazione del pistone, a stadi di 0,25-0,5 mm. La successiva levigatura (microfinitura) è effettuata su una levigatrice.

Montaggio delle camicie

In generale, le **camicie a secco** sono già rifinite e aggiustate in modo da poter essere inserite negli appositi alesaggi ricavati nel blocco motore. Le camicie prealesate sono pressate (inserite) nel cilindro e, successivamente, alesate con precisione dopo il loro montaggio. Una volta montata, la camicia non deve sporgere, ma essere a filo (al massimo 0,1 mm più bassa rispetto al piano superiore del blocco).

Le **camicie a umido** sono fornite già pronte al montaggio e, di norma, sono facilmente inseribili nei rispettivi alloggiamenti. Gli anelli in gomma devono garantire una buona ermeticità,

CONTINUA DA PAGINA 218

ma non devono essere troppo spessi, per evitare che la camicia si deformi e causi un eventuale grippaggio del pistone. Il colletto della camicia sporge, in genere, di circa 0,1 mm dal piano superiore del blocco motore (fig. 1). La guarnizione della testata non deve presentare una bordatura troppo rigida e non deve premere sul bordo interno del colletto della camicia. In caso contrario, vi sarebbe il rischio che, serrando i bulloni della testata, il colletto si spezzi o la camicia si deformi. In nessun caso il colletto deve essere più basso del piano superiore del blocco, in quanto la camicia si potrebbe muovere.

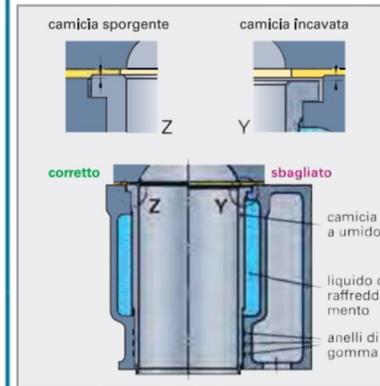


Figura 1: Posizioni di montaggio delle camicie

Sostituzione della guarnizione della testata

Nel sostituire la guarnizione della testata occorre considerare i seguenti punti:

- il motore deve essere fatto raffreddare prima di smontare la testata, onde evitare che quest'ultima si deformi;

- eventuali residui della guarnizione rimasti incollati devono essere eliminati completamente;
- le superfici di tenuta della testata e del blocco cilindri devono essere piane; in caso contrario, è necessaria una rettifica;
- lo spessore della guarnizione della testata deve corrispondere alle indicazioni del costruttore;
- i fori per il passaggio del liquido di raffreddamento e dell'olio motore devono coincidere;
- in caso di rettifica del blocco cilindri o della testata, è necessario utilizzare una guarnizione con lo spessore maggiorato, altrimenti si modificerebbe il rapporto di compressione;
- al fine di evitare problemi di autoaccensione per incandescenza, i bordi della guarnizione non devono sporgere all'interno della camera di combustione.

Serraggio delle viti della testata (fig. 2)

Vanno serrate o allentate rispettando l'ordine indicato nel manuale di riparazione. Il mancato rispetto dell'ordine di serraggio può causare la deformazione della testata e difetti di tenuta.

La coppia ed eventualmente l'angolo di serraggio prescritti devono essere rispettati. In genere, è necessario utilizzare un set di viti nuove (osservare le indicazioni del costruttore).

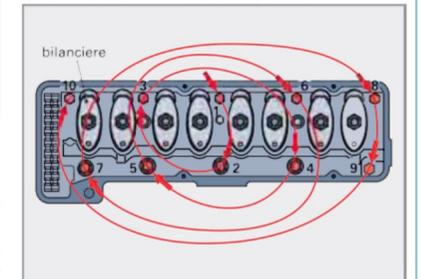


Figura 2: Esempio di serraggio delle viti della testata

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i compiti del cilindro e della testata?
- 2 A quali sollecitazioni sono sottoposti il cilindro e la testata?
- 3 Quali proprietà devono avere il cilindro e la superficie di scorrimento del cilindro?
- 4 Qual è la differenza fra camicie del cilindro a umido e a secco?
- 5 Quali vantaggi e svantaggi possiedono i cilindri in lega leggera?
- 6 Come possono essere migliorate le proprietà di scorrimento dei cilindri in lega leggera?
- 7 Quali sono i vantaggi delle camere di compressione con zone di schiacciamento?
- 8 Quali conseguenze può avere una guarnizione della testata danneggiata?
- 9 Che cosa va considerato durante il montaggio delle camicie a umido?
- 10 Come devono essere serrate le viti della testata?

11.2 Manovellismo

11.2.1 Il pistone

Compiti

- Rendere ermetica, in maniera mobile, la camera di combustione rispetto al basamento.
- Contenere la pressione dei gas generata dalla combustione e convertirla in forza di spinta sulla biella.
- Trasmettere alle pareti del cilindro gran parte del calore assorbito dal cielo del pistone durante la combustione.
- Comandare il ricambio dei gas nei motori a due tempi.

Sollecitazioni

Forza del pistone. La pressione dovuta alla combustione esercitata sul cielo del pistone dei motori a benzina può raggiungere i 60 bar. Ciò produce, per un diametro del pistone di 80 mm, una forza pari a 30.000 N. I portanti dello spinotto subiscono una pressione massima di 60 N/mm².

Forza laterale. Il pistone è premuto in modo alternato contro la parete del cilindro. Il mantello del pistone deve resistere a una spinta laterale fino a 0,8 N/mm². Questo scampanamento del pistone è causa di rumori che possono essere ridotti, per esempio, riducendo il gioco del pistone, aumentando la lunghezza del mantello o disassando l'asse dello spinotto.

Disassamento. Significa che l'asse dello spinotto è spostato di circa 0,5 - 1,5 mm dal centro del pistone verso il lato più sollecitato (fig. 1). Più precisamente, il pistone cambia il suo lato d'appoggio in 2 fasi. Inizialmente è la parte inferiore del mantello a spostarsi verso il lato sollecitato ancor prima del PMS; dopodiché, una volta raggiunto il PMS, anche la parte superiore del mantello si orienta verso il lato di pressione. I pistoni sono muniti di una marcatura che contrassegna la posizione di montaggio. Anche l'albero motore può essere disassato rispetto al centro.

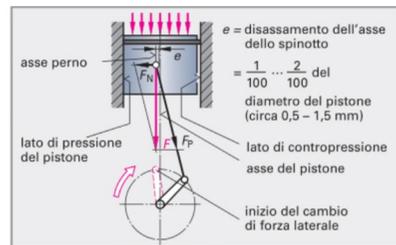


Figura 1: Forze che agiscono sul pistone con spinotto disassato

Forza d'attrito. Il mantello, le cave delle fasce elastiche e le sedi dello spinotto sono sottoposti a sfregamento. L'attrito e l'usura possono essere ridotti tramite una corretta scelta dei materiali, un'accurata lavorazione delle superfici di scorrimento e una sufficiente lubrificazione.

Deformazione del pistone. Le forze agenti sul pistone generano una serie di deformazioni. Il cielo del pistone si flette per effetto della pressione esercitata dalla combustione. Poiché in corrispondenza del mantello le sedi dello spinotto poggiano sullo spinotto stesso, sul lato di pressione e contropressione il pistone si flette verso il basso, con conseguente riduzione del diametro proprio in quella direzione. Per effetto della forza laterale, esso viene premuto contro la parete del cilindro, determinando un incremento del diametro lungo l'asse dello spinotto. Alla massima pressione di combustione, all'estremità inferiore del mantello si generano variazioni del diametro nell'ordine di grandezza dei giochi di montaggio, pari allo 0,15% e allo 0,07% rispettivamente per i motori a benzina e per i motori Diesel.

Calore. La combustione della miscela aria-carburante produce all'interno del cilindro temperature pari fino a 2.500 °C. Gran parte del calore è trasmesso al cilindro tramite il cielo del pistone, la zona delle fasce elastiche e le fasce elastiche. L'olio lubrificante dissipa il calore. Nonostante ciò, la temperatura d'esercizio nei pistoni in lega leggera si aggira ancora attorno ai 250-350 °C all'altezza del cielo e non supera i 150 °C sul mantello (fig. 2).

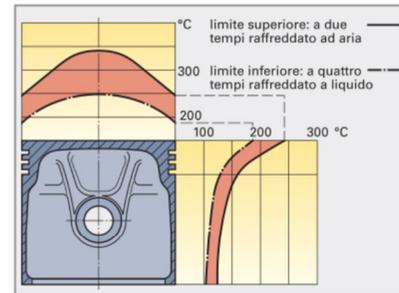


Figura 2: Temperature di esercizio sul pistone

Forma. Affinché il pistone abbia un gioco predefinito e acquisisca una forma cilindrica, si effettuano 3 operazioni (fig. 1, pag. 221).

Ovalizzazione. Il diametro è maggiore in direzione della pressione e contropressione rispetto a quello in direzione dell'asse dello spinotto. Le deformazioni del pistone sono compensate.

Bombatura. Il pistone viene rastremato verso l'alto; le differenti dilatazioni termiche si compensano.

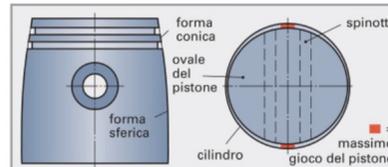


Figura 1: Forma del pistone a freddo

Variatione dello spessore di parete. Attraverso differenti spessori delle pareti, si orientano le tensioni e il calore in maniera tale da agevolare la forma cilindrica del pistone in fase d'esercizio.

Gioco a freddo. La fig. 2 mostra la forma di un pistone monoblocco a freddo. Il gioco tra pistone e cilindro ha valori diversi.

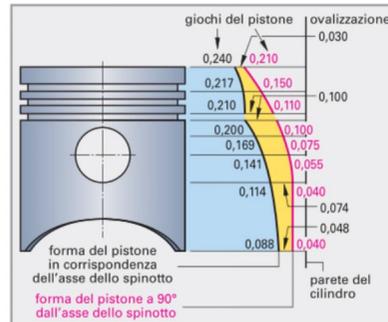


Figura 2: Forma del pistone con giochi di montaggio

In seguito all'ovalizzazione, il gioco del pistone in corrispondenza dell'asse dello spinotto è maggiore rispetto a quello sul piano di scampanatura. Sul mantello, è di 0,088 mm lungo l'asse dello spinotto e di 0,04 mm a 90° rispetto a esso. Questo gioco minimo è detto gioco di montaggio: il pistone, in questo punto, ha il suo diametro maggiore. Verso l'alto, il pistone è più stretto su entrambi gli assi.

Gioco di montaggio: differenza fra diametro del cilindro e massimo diametro del pistone.

Materiali del pistone

I diversi tipi di sollecitazione richiedono le seguenti caratteristiche:

- massa volumica ridotta;
- alta resistenza (anche a temperature più elevate);
- buona conduttività termica;
- bassa dilatazione termica;
- basso coefficiente d'attrito;
- elevata resistenza all'usura.

Per via della loro bassa massa volumica ($\rho \approx 2,7$ kg/dm³) e dell'elevata conduttività termica, si utiliz-

zano pistoni in leghe di alluminio-silicio. Maggiore è il contenuto di silicio, minori sono la dilatazione termica e l'usura. In genere i pistoni sono realizzati in AISi12CuN mediante colata in conchiglia. In caso di sollecitazioni termiche elevate, si utilizzano le leghe AISi18CuNi o AISi25CuNi. I pistoni che devono resistere a pressioni elevate sono forgiati.

Struttura e dimensioni (figg. 3 e 4)

Cielo del pistone. È piatto o leggermente concavo o convesso. Dotando il cielo del pistone di una cavità, è possibile trasferire parte della camera di combustione nel pistone. La forma del cielo è influenzata anche dalla forma della camera di combustione e dalla disposizione delle valvole.

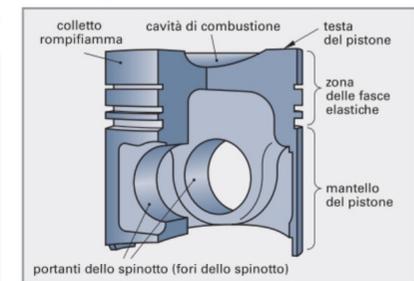


Figura 3: Struttura del pistone

Zona delle fasce elastiche. Guida le fasce elastiche all'interno delle apposite cave e rende stagna la camera di combustione rispetto al carter. Dissipa circa il 50% del calore generato nel pistone.

Colletto rompifiamma. Protegge la fascia elastica superiore da un riscaldamento troppo elevato.

Mantello. Serve a guidare il pistone all'interno del cilindro e sopportare le forze di spinta laterali. Se di lunghezza elevata, riduce i rumori durante il cambiamento del lato di appoggio.

Portanti dello spinotto. Trasmettono la forza del pistone allo spinotto.

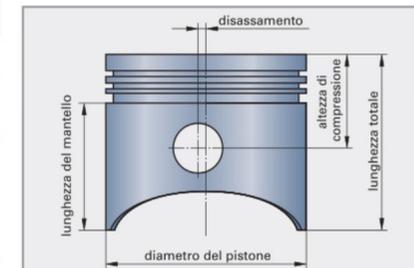


Figura 4: Dimensioni del pistone

Pistoni monometallici (fig. 1). Il mantello è ridotto a una superficie corta e sottile sul lato di pressione e contropressione. Per ridurre ulteriormente il peso, il lato di contropressione può essere più sottile rispetto a quello di pressione. Dietro le fasce possono esserci degli interstizi. L'altezza di compressione del pistone e lo spessore delle fasce sono ridotti.



Figura 1: Pistone monometallico

Pistoni forgiati (fig. 2). A parità di lega, hanno una resistenza maggiore e una struttura più fine rispetto ai pistoni realizzati in colata. Lo spessore delle pareti può essere più sottile. Il lingotto viene portato alla temperatura di forgiatura e pressato in uno stampo tramite un maglio. In questo modo si ottiene il pezzo allo stato grezzo. Questi pistoni sono utilizzati nelle competizioni e su motori di serie ad elevate prestazioni.



Figura 2: Pistone forgiato

Pistone con sede riportata in acciaio e canale di raffreddamento (fig. 3). A causa delle maggiori sollecitazioni termiche e di pressione, soprattutto in prossimità del colletto rompifiamma, per la fascia elastica superiore è previsto un inserto in acciaio che riduce l'usura provocata dal contatto con la sede. Anche l'anodizzazione dura delle scanalature incrementa la resistenza all'usura. Tramite un canale di raffreddamento, che riceve l'olio da un'apposita scanalatura di alimentazione, è possibile dissipare ulteriore

calore. Una boccola in ottone rinforza la sede dello spinotto. Attraverso un procedimento di rifusione a laser, il bordo della cavità può essere trasformato in una struttura refrattaria. L'intera cavità di combustione sul cielo del pistone può essere rinforzata con un anello in fibra ceramica, inserito in fase di pressofusione.

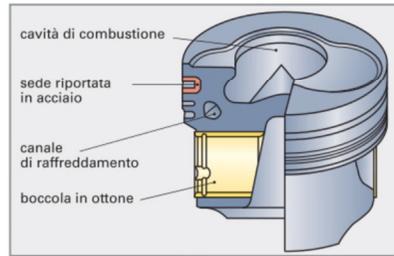


Figura 3: Pistone con sede riportata in acciaio e canale di raffreddamento

Pistone in acciaio

Per i motori Diesel sovralimentati con pressioni di combustione attorno ai 200 bar, i pistoni sono realizzati in acciaio colato (42CrMo4V) al fine di soddisfare i maggiori requisiti di resistenza, per esempio alla flessione. Rispetto ai pistoni in alluminio, quelli in acciaio hanno un'altezza inferiore e uno spessore delle pareti più sottile, in maniera tale da compensare parte del peso specifico maggiore. Essendo particolarmente soggetto alla corrosione, il pistone in acciaio è rivestito con uno strato protettivo, per esempio di fosforo.



Figura 4: Pistone in acciaio colato

Rivestimento della superficie di scorrimento. Riduce l'attrito e l'usura tra pistone e cilindro, oltre a fungere da protezione d'emergenza in caso di lubrificazione insufficiente. È applicato sul mantello.

Strato di ferro. Viene utilizzato quando la superficie di scorrimento del cilindro è in lega di alluminio. Lo strato di ferro viene applicato mediante un procedimento galvanico. Sopra di esso, un sottile strato di stagno protegge dalla corrosione e migliora le proprietà di scorrimento.

Rivestimenti in resina. Sono applicati mediante serigrafia sui pistoni in alluminio abbinati a cilindri in acciaio, ghisa o alluminio rivestito di ferro. Nella resina possono essere aggiunti diversi materiali, per esempio la grafite come lubrificante solido o ossidi di titanio e fibre di carbonio per indurire lo strato e ridurre l'attrito. Attraverso la corretta porosità dello strato, si garantisce il deposito di olio. In situazioni speciali si utilizzano rivestimenti in molibdeno o l'anodizzazione dura.

Le fasce elastiche del pistone

Le fasce elastiche si suddividono in fasce elastiche di compressione e fasce elastiche raschiaolio (tab. 1).

Fasce elastiche di compressione. Assolvono le seguenti funzioni:

- assicurano l'ermeticità del cilindro verso il basamento;
- trasmettono il calore dal pistone al cilindro.

Fasce elastiche raschiaolio. Assolvono le seguenti funzioni:

- eliminano l'olio lubrificante in eccesso dalle pareti del cilindro;
- riconducono l'olio lubrificante eliminato nella coppa dell'olio.

Funzionamento. Gli anelli del pistone sono elastici e, deformandosi, generano una pressione di contatto sul cilindro che, sulla prima fascia, per effetto della pressione del gas, può essere 10 volte supe-

riore a quella originaria. Affinché la fascia elastica superiore non tocchi comunque la parete del cilindro e spinga l'olio all'interno della camera di combustione, la fascia a sezione rettangolare è spesso provvista di una spoglia. La forma così ottenuta presenta una bombatura simmetrica o asimmetrica. Ne consegue una lubrificazione idrodinamica per effetto cuneo che separa la fascia elastica dalla parete del cilindro e convoglia poco olio nella camera di combustione (fig. 1).

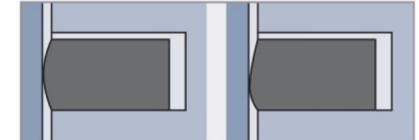


Figura 1: Fascia elastica bombata

Materiali

Le fasce elastiche sono realizzate in ghisa bonificata, eventualmente sferoidale, oppure, se sottoposte a elevate sollecitazioni, in acciaio altolegato.

Rivestimenti protettivi

Diminuiscono l'attrito e l'usura, incrementano la vita utile e riducono l'eventuale grippaggio delle fasce. In genere, la superficie è indurita mediante nitrurazione o anodizzazione dura. Si utilizzano anche strati di fosfato, stagno e molibdeno applicati mediante trattamento galvanico. In caso di requisiti termici e meccanici superiori, si ricorre a rivestimenti in PVD (Physical Vapour Deposition) contenenti microparticelle o in DLC (Diamond like Carbon) a base di fibra di carbonio.

Tabella 1: Fasce elastiche del pistone

Forma dell'anello		Abbreviazione	Prescrizioni di montaggio	Scopo della forma
Sezione	Denominazione			
	Fascia rettangolare (segmento di compressione)	R	Possibile da entrambi i lati	Produzione semplice
	Fascia conica	M	Lato indicato con "top" verso il cielo del pistone	Accelerazione del rodaggio (in genere nella sede superiore)
	Fascia semi-trapezoidale	Tr	Lato conico della fascia verso il cielo del pistone	Impedire il bloccaggio della fascia nella sede
	Fascia a L	LR	Grande Ø interno della fascia verso il cielo del pistone o lo spigolo superiore della fascia = spigolo cielo pistone	Maggiore pressione contro le pareti del cilindro grazie all'azione dei gas di combustione
	Fascia a becco	N	Angolo tornito della fascia in direzione del mantello	Ulteriore effetto raschiaolio
	Fascia raschiaolio a intagli (normale)	O	Possibile da entrambi i lati	Effetto di raschiamento con passaggio dell'olio verso l'interno del pistone
	Fascia raschiaolio	SF	Possibile da entrambi i lati con molla a spirale	Maggior pressione contro le pareti del cilindro, migliore effetto di raschiamento

Spinotto del pistone e anelli elastici di sicurezza

Spinotto del pistone. Collega il pistone con la biella. Il rapido movimento lineare che compie insieme al pistone esige che la sua massa sia ridotta. Per diminuire le forze di accelerazione, gli spinotti sono cavi. Il cambiamento repentino e violento del carico presuppone un materiale che abbia un'ottima resistenza agli sforzi alterni e un'elevata tenacità. Il gioco ridotto nei portanti dello spinotto e nel piede di biella richiede un'elevata qualità di finitura della superficie e una notevole precisione delle forme. Le cattive condizioni di lubrificazione necessitano di un'elevata durezza dello strato superficiale, al fine di ridurre l'usura. Le principali forme costruttive degli spinotti (fig. 1) sono:

- con foro cilindrico passante (forma classica);
- con estremità del foro allargate a forma di cono (riduzione del peso);
- con foro chiuso nel mezzo o a un'estremità per impedire il passaggio dei gas di travaso nei motori a due tempi.

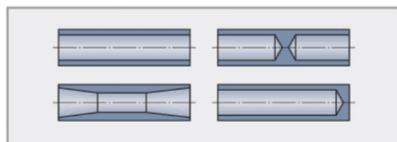


Figura 1: Forme costruttive degli spinotti

I materiali usati per la fabbricazione degli spinotti sono acciai da cementazione e acciai da nitrurazione. Per una normale sollecitazione, è sufficiente l'utilizzo dell'acciaio da cementazione C15E; per motori a ciclo Otto e Diesel, più sollecitati, si utilizzano, invece, acciai da cementazione 17Cr3, 16MnCr5 e 31CrMo12. Per applicazioni che richiedono massima sollecitazione e massima durezza dello strato superficiale, si impiegano acciai da nitrurazione quali 31CrMo12 e 31CrMoV9.

Anelli elastici di sicurezza dello spinotto (fig. 2). In caso di montaggio dello spinotto nel pistone di tipo flottante, gli anelli devono impedire che lo spinotto si sposti e danneggi la parete del cilindro.

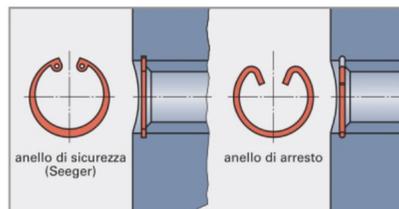


Figura 2: Anelli elastici di sicurezza dello spinotto

I dispositivi di sicurezza consistono in anelli d'acciaio elastico (anello di sicurezza Seeger, anello d'arresto) applicati nelle apposite scanalature poste sui portanti dello spinotto. Per un montaggio più semplice, gli anelli Seeger sono dotati alle estremità di fori per le pinze di montaggio, mentre gli anelli di arresto hanno le estremità piegate a uncino.

Danni al pistone

I pistoni possono danneggiarsi per una manipolazione non appropriata durante l'assemblaggio e l'installazione nel motore, per esempio: deformazione dei cilindri perché le viti della testata sono state serrate in modo irregolare; posizionamento troppo stretto dello spinotto del pistone nell'occhio della biella; disuguaglianze sulla camicia del cilindro riportato. I pistoni possono danneggiarsi anche per:

- autoaccensioni dovute all'utilizzo di carburante con un numero di ottani troppo basso o di candele di accensione con grado termico sbagliato;
- combustione con battito dovuta a carburante non idoneo, rapporto di compressione troppo elevato in seguito all'utilizzo di una guarnizione della testata non appropriata, punto di accensione troppo anticipato, miscela troppo magra, surriscaldamento del motore;
- combustioni anomale nei motori Diesel dovuti a ritardo dell'accensione, combustione incompleta e gocciolamento dei polverizzatori;
- lubrificazione insufficiente o assente;
- surriscaldamento dovuto a insufficiente raffreddamento del motore, accensione ritardata ed eccessivo apporto di carburante.

Immagine di danni ai pistoni

1. Grippaggio del pistone (grippaggio dovuto al ciclo a secco, fig. 3), zona del mantello in particolare. Il mantello è grippato su tutta la circonferenza; i punti di grippaggio sono riconoscibili dalla colorazione scura. La zona delle fasce elastiche può essere danneggiata dalla fusione del materiale di rivestimento del pistone.

Cause. La lubrificazione fra pistone e cilindro si è interrotta per un forte surriscaldamento.



Figura 3: Grippaggio del mantello

Può accadere per difetti del sistema di raffreddamento (perdita di liquido raffreddante, depositi di residui nei canali di raffreddamento, termostato difettoso), per un'accensione ritardata, per scarsa qualità o quantità dell'olio.

2. Foro nel cielo del pistone (fig. 1). Una parte del materiale si è fusa, un'altra, più grande, è sfondata allargandosi verso il basso a forma di imbuto (riconoscibile osservando il cielo dal lato rivolto verso l'interno del pistone). Il mantello e la zona delle fasce elastiche in genere non sono danneggiati (nessun segno di grippaggio).

Cause. In seguito all'autoaccensione, il cielo del pistone si riscalda fino a raggiungere il punto di fusione. I gas di combustione asportano la massa fusa, diminuendo la solidità di questo punto. La pressione di combustione spinge la parte restante del cielo verso l'interno, formando un imbuto.



Figura 1: Foro nel cielo del pistone

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo del diametro del pistone e del gioco di montaggio

Le ditte produttrici forniscono pistoni pronti per il montaggio. Sul cielo di questi pistoni è indicato il massimo diametro del mantello in mm (diametro del pistone), per esempio, 84 mm (fig. 2). Esso è misurato all'estremità del mantello, perpendicolarmente all'asse dello spinotto.



Figura 2: Indicazioni di montaggio sul cielo del pistone

Il gioco di montaggio, inciso anch'esso sul cielo (0,04 mm), indica la differenza in mm fra il diametro del cilindro e quello del pistone a 20 °C.

$$\text{Diametro del pistone} + \text{gioco di montaggio} = \text{diametro del cilindro}$$

Per la rettifica dei cilindri sono state stabilite, a seconda del modello, quattro misure in eccesso a passi crescenti di 0,5 mm (nel caso dei cilindri dei motorini i passi sono di 0,25 mm) per ogni diametro di cilindro. Esistono dunque 4 pistoni con misura in eccesso.

Montaggio delle fasce elastiche

Le fasce elastiche sono fornite già montate sul pistone. Se devono essere montate singole fasce elastiche, bisogna utilizzare l'apposita pinza (fig. 3) e il corretto tipo di fascia, oltre a prestare attenzione che il lato indicato con "top" o "sopra" guardi verso il cielo del pistone. Un gioco assiale nelle sedi delle fasce elastiche maggiore di 0,025-0,04 mm, a seconda del tipo, può portare allo spigolamento e al "pompiaggio" delle fasce elastiche, per esempio, quando le sedi delle fasce sono troppo usurate, le fasce elastiche agiscono come elementi pompanti, trasportando olio nella camera di combustione.

A pistone montato, le fasce elastiche dovrebbero avere una luce di 0,2-0,3 mm, altrimenti sarebbero impediti nel loro effetto di molleggio e potrebbero rompersi.

Se il gioco è troppo grande, invece, si hanno perdite di gas. Il valore di questo gioco può essere controllato con uno spessore inserendo, per prova, le fasce senza pistone nell'alesaggio di un cilindro.



Figura 3: Montaggio delle fasce elastiche con pinza speciale

CONTINUA DA PAGINA 225

Montaggio degli anelli elastici di sicurezza

Gli anelli elastici di sicurezza dello spinotto devono essere montati con pinze da montaggio per evitare di danneggiare il foro dello spinotto. Quando si comprimono gli anelli di sicurezza, occorre procedere con cautela per evitare che si deformino in maniera permanente e che perdano la loro elasticità. Gli anelli di sicurezza sono montati correttamente se la loro apertura è rivolta esattamente verso l'alto o verso il basso nella sede dello spinotto. Per controllare il fissaggio degli anelli nella relativa scanalatura, si effettua una prova: nel far ruotare l'anello nella sua sede con un cacciavite si deve percepire una notevole resistenza. Non riutilizzare i vecchi anelli di sicurezza smontati.

Montaggio del pistone

Qualora fosse necessario pulire accuratamente il pistone con le fasce elastiche montate usando benzina rettificata, asciugare con aria compressa e poi lubrificare bene tutte le superfici di scorrimento. Lo sporco può provocare danni al pistone. Fare attenzione a lasciare sufficiente gioco fra i portanti dello spinotto e il piede di biella, onde evitare che il pistone sia spinto verso un lato della parete del cilindro. L'asse del piede di biella e l'asse del cuscinetto della testa di biella devono essere paralleli.

Durante l'introduzione del pistone ben lubrificato nel cilindro, è necessario comprimere le fasce elastiche con un'apposita fascetta (fig. 1), al fine di proteggerle da un eventuale danneggiamento. Le giunzioni delle fasce vanno disposte sul perimetro del pistone in modo tale che siano sfasate di 120° ($360^\circ : 3$) l'una rispetto all'altra.

Se il pistone è stato montato correttamente, a livello del cielo – in corrispondenza dello spinotto – ci sarà su entrambi i lati lo stesso gioco fra pistone e cilindro. Il controllo si effettua con uno spessimetro, consentendo contemporaneamente anche di verificare la corretta angolazione della biella.



Figura 1: Montaggio del pistone nel cilindro

Senso di montaggio del pistone

I pistoni con asse dello spinotto fuori centro (pistoni disassati) devono essere montati in maniera tale che gli spinotti siano spostati verso il lato di pressione.

Questi pistoni, come quelli che possiedono cieli con forme particolari, sono dotati di un'indicazione del senso di montaggio (freccia) che deve essere rivolta verso la distribuzione (fig. 2, pag. 225). La freccia può essere sostituita dalla scritta "davanti", "front" o da un simbolo dell'albero motore (nel caso di motori montati trasversalmente o di motori posteriori).

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sollecitazioni deve sopportare un pistone durante il funzionamento?
- 2 Come si riduce il fenomeno di scapanatura del pistone?
- 3 Quali requisiti deve soddisfare il materiale del pistone?
- 4 Quale forma ha il pistone da freddo?
- 5 Per quale motivo le superfici di scorrimento del pistone sono dotate di strati protettivi?
- 6 Quali strati protettivi possono essere utilizzati per le fasce elastiche?
- 7 Per quale motivo gli spinotti hanno lo strato superficiale indurito?
- 8 Come si rileva il diametro di un pistone?
- 9 Che cosa si intende per gioco di montaggio?
- 10 A che cosa bisogna fare attenzione durante il montaggio di singole fasce elastiche?
- 11 Cosa significa "pompaggio" delle fasce elastiche?

- 12 Quali vantaggi ha una fascia a L e dove si monta?
- 13 Quali compiti hanno gli anelli elastici di sicurezza?
- 14 Quali possono essere le cause dei danni al pistone?
- 15 A che cosa bisogna fare attenzione durante l'introduzione del pistone nel cilindro?
- 16 Per quale motivo è necessario che vi sia sufficiente gioco fra i portanti dello spinotto e il piede di biella?
- 17 A che cosa bisogna fare attenzione durante il montaggio di pistoni disassati?
- 18 Che cosa si intende per altezza di compressione nel pistone?
- 19 Quali sono le peculiarità dei pistoni per i motori Diesel?
- 20 Come può essere controllato il gioco di spinta delle fasce elastiche?

11.2.2 La biella**Compiti**

- Collegare il pistone all'albero motore.
- Trasformare il movimento lineare del pistone in un movimento di rotazione dell'albero motore.
- Trasmettere la forza del pistone all'albero motore e produrre un momento torcente.

Sollecitazioni

- Forze longitudinali generate dalla pressione dei gas sulla testa del pistone.
- Forze di accelerazione che agiscono sotto forma di forze di trazione e di compressione in direzione longitudinale, generate dal continuo cambiamento della velocità del pistone.
- Forze di flessione che agiscono sul corpo della biella a causa del continuo movimento pendolare attorno all'asse dello spinotto.
- Forze di compressione dovute alle elevate pressioni di combustione.

La massa della biella deve essere quanto più ridotta possibile al fine di contenere le forze di inerzia.

Materiali per bielle

Le **bielle** (fig. 1) sono prodotte prevalentemente in acciaio da bonifica legato e forgiato per stampaggio, oppure in polvere d'acciaio legato come pezzo fucinato sinterizzato (fig. 2). Le bielle sinterizzate hanno proprietà meccaniche migliori rispetto alle bielle forgiate per stampaggio; le loro sezioni possono essere più piccole, riducendo di conseguenza anche il loro peso. Non vi sono praticamente mai differenze di peso fuori tolleranza. La testa viene sagomata nella sua forma definitiva già in fase di fabbricazione. Non viene tranciata, bensì soltanto incisa con il laser e quindi frantumata mediante un apposito cuneo. La biella e il rispettivo cappello hanno la medesima superficie di frattura granulare

e garantiscono, in fase di montaggio, un accoppiamento estremamente preciso. Non sono più necessarie viti di centraggio.

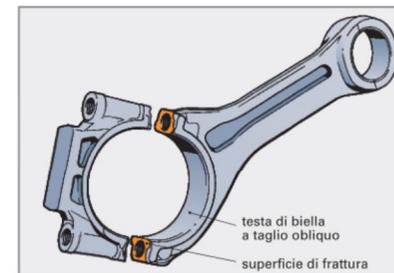


Figura 2: Biella eseguita con tecnica di frattura, a taglio obliquo

Struttura

Piede di biella. Accoglie lo spinotto. Se lo spinotto ha un montaggio flottante, nel piede di biella è inserita una boccia, in genere fabbricata in lega di rame (CuPbSn). Se lo spinotto deve essere fissato nel piede di biella mediante accoppiamento bloccato forzato a caldo, esso viene calettato direttamente nel piede di biella.

Corpo della biella. Collega il piede di biella con la testa. Per aumentare la resistenza al piegamento, la sezione ha spesso una forma a doppia T.

Testa di biella. Insieme al cappello circonda i due gusci che costituiscono il cuscinetto liscio di biella. Il cappello è generalmente fissato sulla testa con viti estensibili.

Appoggio della biella sull'albero motore. È realizzato, come avviene per l'appoggio dell'albero motore sul basamento, con cuscinetti lisci stratificati (fig. 1, pag. 231).

Gioco del cuscinetto. È prescritto dal produttore e può essere stabilito misurando il cuscinetto e il perno di biella. Se lo si rileva mediante "plastigage" (fig. 2, pag. 231), occorre misurare ciascun cuscinetto singolarmente.

Forme costruttive speciali di biella

Biella trapezoidale. La parte inferiore del piede, sottoposta a una maggiore pressione di combustione, è più larga rispetto alla metà superiore, che invece deve resistere a minori sollecitazioni. Il piede di biella acquisisce così una forma trapezoidale.

Biella con taglio obliquo. A causa delle maggiori pressioni presenti nei motori Diesel, la testa dev'essere più robusta, per cui le sue dimensioni superano il diametro del cilindro. Per poter sfilare la biella dal cilindro in sede di revisione, è quindi indispensabile una costruzione con taglio obliquo (fig. 2).



Figura 1: Biella con semicuscinetti

Bielle in un solo pezzo. Nei motori monocilindrici a due tempi, spesso la testa della biella non è divisa, bensì è l'albero motore a essere composto da singole parti.

Al posto dei cuscinetti lisci, è possibile utilizzare cuscinetti volventi.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo della tolleranza sul peso. Quando si cambia la biella o il pistone, è necessario fare attenzione che i pezzi di ricambio abbiano lo stesso peso, onde evitare squilibri del motore a causa delle masse diseguali.

La tolleranza relativa al peso dell'insieme pistone più biella è prescritta dal costruttore. Piccoli eccessi di peso possono essere eliminati asportando materiale dalla testa di biella.

Montaggio di pistone e biella

Montaggio flottante. Se lo spinotto ha un appoggio flottante nella boccia e nel pistone, occorre accertare il corretto montaggio degli anelli elastici di sicurezza (cfr. pag. 226).

Accoppiamento di scorrimento o accoppiamento bloccato. Se lo spinotto è fissato nel pistone mediante accoppiamento di scorrimento o accoppiamento bloccato, prima del montaggio occorre riscaldare il pistone, per esempio nell'olio, a circa 80 °C. Per introdurre lo spinotto lubrificato e freddo nel pistone, i fori dello spinotto e la boccia sono centrati con una colonna di montaggio, allo scopo di poter introdurre rapidamente lo spinotto ed evitare che si restringa precocemente nel pistone.

Accoppiamento bloccato forzato a caldo. Per il montaggio degli spinotti nella biella mediante accoppiamento bloccato forzato a caldo, si procede come segue (fig. 1):

- riscaldare la biella a circa 280-320 °C (è necessario il controllo della temperatura);
- per facilitare il montaggio, ridurre il diametro dello spinotto, raffreddandolo con neve carbonica (ghiaccio secco) o in freezer;

La **lubrificazione** del cuscinetto di biella si effettua con l'olio motore. L'olio, proveniente dal perno di banco, raggiunge il perno di biella attraverso un apposito foro. La boccia e lo spinotto, in genere, sono lubrificati a sufficienza con spruzzi d'olio (foro situato nel piede di biella, fig. 1, pag. 227).

- centrare accuratamente il pistone nella matrice contro il perno di battuta;
- centrare la biella calda rispetto al foro dello spinotto, appoggiandola contro il portante inferiore dello spinotto;
- introdurre lo spinotto raffreddato attraverso il foro superiore fino alla biella;
- spingere rapidamente e in un unico colpo lo spinotto fino alla battuta d'arresto (posizione finale).

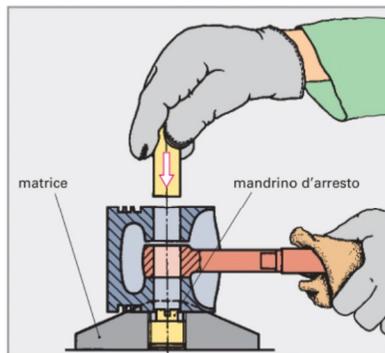


Figura 1: Montaggio del pistone con accoppiamento bloccato forzato dello spinotto nella biella

Montaggio della biella sull'albero motore. La biella deve avere un gioco laterale sul perno di biella, affinché si possano compensare le diverse dilatazioni termiche dell'albero motore e del basamento. Le viti della biella, generalmente estensibili, devono essere serrate con una chiave dinamometrica alla coppia prescritta dal costruttore.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 A quali sollecitazioni è sottoposta la biella?
- 2 Quali compiti hanno le bielle?
- 3 Quali vantaggi offre la tecnica di frattura nelle bielle sinterizzate?
- 4 Come viene montata la biella sull'albero motore e come avviene la lubrificazione?
- 5 Che cosa s'intende per biella trapezoidale?
- 6 Come avviene il montaggio dello spinotto nel piede di biella?
- 7 Per quale motivo non dev'essere superata la tolleranza sul peso dell'insieme pistone + biella?
- 8 Per quale motivo si deve utilizzare una colonna di montaggio per assemblare il pistone con la biella?

11.2.3 L'albero motore

Compiti

- Trasformare il moto lineare in moto rotatorio producendo la coppia motrice.
- Trasmettere parte della coppia motrice agli organi della catena cinematica.
- Fornire la coppia necessaria per l'azionamento degli organi ausiliari del motore.

Sollecitazioni

L'albero motore, a ogni corsa, deve accelerare e poi decelerare le bielle e i pistoni, producendo enormi effetti d'inerzia.

Inoltre, sull'albero motore agisce una grande forza centrifuga, per cui l'albero motore è sollecitato a torsione, flessione, oscillazione e usura.

Materiali dell'albero motore

L'albero motore è prodotto con:

- acciaio da bonifica legato;
- acciaio da nitrurazione;
- ghisa sferoidale.

Gli alberi motore in acciaio sono forgiati in uno stampo. La microstruttura compatta conferisce loro un'elevata resistenza.

Gli alberi motore in ghisa sferoidale possiedono una buona capacità di ammortizzare le oscillazioni.

Struttura

Perni di biella, perni di banco. Ogni albero motore (fig. 1) possiede i perni di banco, posti su un asse, per l'appoggio sul basamento e i perni di biella per accogliere i cuscinetti di biella. I perni dell'albero motore sono induriti in superficie e rettificati.

Spalle di manovella. I perni di banco e di biella sono collegati mediante spalle o bracci di manovella. I perni di biella e le spalle di manovella producono un'irregolare distribuzione della massa, compensata da contrappesi posizionati sul lato opposto di ciascun perno. I perni di banco sono collegati a quelli di biella tramite una serie di fori di lubrificazione che attraversano le spalle di manovella. Gli alberi motore devono essere equilibrati dinamicamente. Un eccesso di materiale in certi punti può essere compensato mediante fori di equilibratura.

Cuscinetti con spallamenti. Uno dei perni di banco è dotato di superfici di scorrimento laterali. Su questo perno di banco è montato il cuscinetto con spallamenti (cuscinetto di guida), con il quale viene stabilito il gioco assiale dell'albero motore. Questo cuscinetto impedisce, per esempio, lo spostamento dell'albero motore durante l'azionamento della frizione.

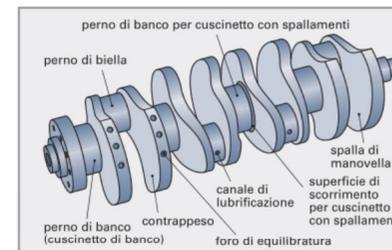


Figura 1: Denominazioni delle parti dell'albero motore

A un'estremità dell'albero motore è fissato il volano, sul quale è generalmente posta la frizione. All'estremità opposta sono collegati un pignone o una ruota dentata (azionamento dell'albero a camme, della pompa dell'olio), la puleggia ed eventualmente un ammortizzatore delle vibrazioni torsionali.

La forma dell'albero motore è determinata da:

- numero di cilindri;
- numero dei perni di banco;
- dimensione della corsa;
- ordine di accensione;
- disposizione dei cilindri.

Piegatura a gomito. È costituita dal perno di banco e dalle due spalle di manovella. Nei motori a 4 cilindri in linea, tutte le piegature a gomito dell'albero motore si trovano sullo stesso piano, mentre nei motori a 6 cilindri in linea esse sono spostate di 120° l'una rispetto all'altra. Le piegature a gomito, destinate ai cilindri paralleli, sono sempre orientate nello stesso senso. I cilindri paralleli sono cilindri i cui pistoni, nel corso di un ciclo di lavoro, sono sfasati reciprocamente di 360° rispetto all'angolo dell'albero motore.

Il volano

Il volano accumula energia cinetica durante la fase di espansione per erogarla successivamente. Con l'energia accumulata dal volano, è possibile superare le "fasi passive", i punti morti nel ciclo di lavoro e compensare eventuali oscillazioni di regime. In genere, in corrispondenza della circonferenza del volano, è calettata o avvitata la corona dentata, dove ingrana il pignone per la messa in moto del motore. Partendo dal volano, la frizione trasmette la coppia del motore al cambio. Il volano è realizzato in acciaio o in ghisa speciale. Al fine di evitare che, a elevati regimi di rotazione, si generi un forte sbilanciamento, di norma il volano e l'albero motore sono equilibrati insieme dinamicamente. In caso contrario, l'albero motore ruoterebbe in modo irregolare, con conseguente sollecitazione anormale sia dell'albero motore stesso sia dei cuscinetti.

Gli alberi di equilibratura

La loro funzione è quella di compensare le forze squilibranti generate dalle masse in rotazione e alle diverse accelerazioni cui sono sottoposte bielle e pistoni.

Principio. A motore acceso, il manovellismo è alternativamente accelerato e decelerato. Dai suoi componenti si generano forze di massa che causano vibrazioni. Queste ultime hanno una frequenza equivalente al regime del motore (1° ordine) o a un multiplo di esso (2° ordine). Qualora il motore giri a 3000 giri/min, la frequenza delle forze di massa di prim'ordine è anch'essa pari a 3000 giri/min. Le vibrazioni delle forze di massa di 2° ordine hanno una frequenza doppia, pari a 6000 giri/min. A seconda del tipo di motore, le forze di massa possono essere più o meno compensate. Nei motori a 6 o più cilindri, in genere le forze di 1° e 2° ordine si compensano reciprocamente all'interno del motore stesso. Ciò non avviene, invece, nei motori a 3 e 4 cilindri. Ecco perché girano in modo non fluido. Tale inconveniente può essere ovviato mediante gli alberi di equilibratura.

Alberi di equilibratura per i motori a 3 cilindri. Nel motore a 3 cilindri, le forze di massa di 1° e 2° ordine non sono compensate. Per quanto riguarda le forze di 1° ordine, esse possono essere compensate con un albero di equilibratura che ruota al regime del motore, alloggiato nel basamento e provvisto di appositi contrappesi. Le forze di massa di 2° ordine, invece, rimangono scompenstate.

Alberi di equilibratura per i motori a 4 cilindri. Nel motore a 4 cilindri le forze di massa di 1° ordine sono compensate, quelle di 2° ordine no. Per quanto riguarda le forze di 2° ordine, esse possono essere compensate con 2 alberi di equilibratura che girano al doppio del regime del motore in senso opposto l'uno all'altro. Sono disposti ai due lati dell'albero motore e sono provvisti di appositi contrappesi (fig. 1).

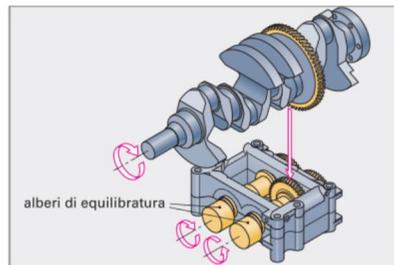


Figura 1: Motore a 4 cilindri con alberi di equilibratura

L'ammortizzatore di vibrazioni torsionali

Contrastano le oscillazioni torsionali che si generano nell'albero motore.

Se le vibrazioni torsionali sono alla stessa frequenza di quelle dell'albero motore, possono raggiungere un'intensità tale da comportare un funzionamento poco fluido del motore o la rottura dell'albero motore.

Struttura. Le masse dell'ammortizzatore (fig. 2) sono collegate elasticamente al disco di trascinamento tramite la gomma ammortizzante. Il disco di trascinamento è fissato all'albero motore in modo da non poter ruotare. Le oscillazioni torsionali che si generano nell'albero motore sono attenuate dall'inerzia delle masse ammortizzanti tramite la deformazione elastica della gomma.

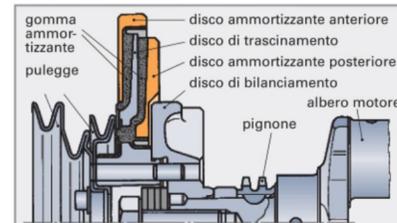


Figura 2: Ammortizzatore

I cuscinetti di banco

Assorbendo le forze del manovellismo, consentono all'albero motore di girare in maniera fluida e senza eccessiva usura.

Struttura (fig. 1, pag. 231). Si tratta di cuscinetti lisci, in genere realizzati in due parti. Sono costituiti da un guscio protettivo in acciaio dello spessore di circa 1,5-2,5 mm e da uno o più strati funzionali. Sono provvisti di foro di lubrificazione e di un'eventuale scanalatura anulare perimetrale. Per facilitare il montaggio manuale dei semicuscinetti, essi sono solitamente muniti di una sporgenza di fissaggio.

Tipologie costruttive

Cuscinetti bimetallici. Sono costituiti da un guscio protettivo in acciaio su cui è applicato, tramite placcatura, uno strato antifrizione in lega di alluminio.

Cuscinetti trimetallici. Tra il guscio protettivo in acciaio e lo strato antifrizione vi è un strato portante in lega di rame e stagno in grado di incorporare le particelle asportate per sfregamento. Una barriera di nichel tra lo strato antifrizione e quello portante separa i due metalli al fine di prevenire la diffusione dello stagno. Gli strati sono applicati tramite placcatura o, in caso di cuscinetti sottoposti a pressioni superiori, mediante procedimento galvanico.

Cuscinetti sputter*. Sono utilizzati nei motori Diesel sovralimentati. Gli strati (AlSn20Cu) sono applicati ad elevata densità e distribuiti finemente sulla superficie mediante procedimenti elettromagnetici (rivestimenti PVD, Physical Vapour Deposition). Il cuscinetto sputter è collocato nel punto maggiormente sollecitato, di fronte al più morbido cuscinetto trimetallico. Il cuscinetto di biella è montato nella testa, il cuscinetto di banco nel cappello.

Cuscinetti polimerici. Sono utilizzati nei motori con sistema start & stop. In questo caso, sul cuscinetto trimetallico è applicato un ulteriore strato di resina, nella cui struttura sono contenute particelle di grasso. È resistente all'usura e ha una buona funzionalità in caso di emergenza.

Funzionamento. I gusci dei cuscinetti di banco sono inseriti nel supporto e nel rispettivo cappello. I cuscinetti di biella sono inseriti nella testa e nel rispettivo cappello. I semicuscinetti hanno un raggio maggiore rispetto al foro di base e un perimetro più lungo, per cui in fase di montaggio sono pressati all'interno della loro sede onde evitare che si spostino o che ruotino durante il funzionamento. La differenza risultante tra il diametro dei semicuscinetti e il perno di banco rappresenta il gioco del cuscinetto. Affinché l'olio motore possa

garantire la lubrificazione necessaria, esso deve rientrare nell'intervallo di tolleranza specificato dal costruttore. L'olio motore, alimentato dalla pompa dell'olio, raggiunge il cuscinetto tramite i canali e i fori di lubrificazione. Un'apposita scanalatura anulare ottimizza la distribuzione dell'olio motore su tutto il perimetro del cuscinetto.

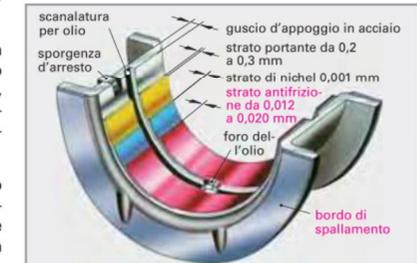


Figura 1: Cuscinetto con spallamenti multistrato

Cuscinetti con spallamenti. Per poter sopportare le forze di spinta assiali sull'albero motore, uno dei cuscinetti presenta uno spallamento su entrambi i lati (fig. 1) o opposte lalle.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo dell'albero motore. Con il comparatore si verifica l'ovalizzazione dell'albero motore e con il micrometro le corrette dimensioni dei perni. Per gli alberi motori che sono stati rettificati a una misura inferiore prestabilita, i costruttori in genere forniscono i rispettivi semicuscinetti.

Controllo del gioco del cuscinetto

Gioco assiale. Viene controllato con il comparatore o uno spessore sul cuscinetto con spallamenti.

Gioco radiale. Può essere determinato misurando il cuscinetto e il perno mediante comparatore per interni e micrometro, oppure anche con plastigage. In questo caso, si pone il filo sintetico di plastigage assialmente sul perno di banco (fig. 2).

Una volta posizionato il cappello del cuscinetto, le viti estensibili sono serrate nel range elastico al basso valore di coppia prescritto, dopodiché sono nuovamente rimosse.

A quel punto, si confronta il filo schiacciato con la scala stampata sulla confezione; per esempio TYPE PG-1 indica un gioco del cuscinetto di 0,051 mm. Ogni cuscinetto è misurato singolarmente. In fase di montaggio, le viti estensibili vengono definitivamente serrate alla coppia prestabilita.



Figura 2: Misurazione del gioco del cuscinetto con plastigage.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i compiti dell'albero motore?
- 2 A quali sollecitazioni è sottoposto l'albero motore?
- 3 Con quali materiali sono fabbricati gli alberi motore?

- 4 Quali sono i compiti del cuscinetto con spallamenti?
- 5 Quali sono i compiti dell'ammortizzatore torsionale?
- 6 Come può essere controllato il gioco dei cuscinetti di banco?
- 7 A cosa serve il volano?

* Sputter (ingl.) = spruzzare, zampillare

11.3 Il volano a due masse

Il volano a due masse ha lo scopo di ammortizzare le vibrazioni torsionali che si generano in un motore a seguito dell'alternanza delle fasi attive.

A determinati regimi, le vibrazioni torsionali possono dare origine a rumori nel cambio e a vibrazioni della carrozzeria. La massa centrifuga convenzionale di un motore a combustione consiste nelle parti del manovellismo, nel volano e nella frizione.

Nel diagramma (fig. 1) sono indicate, per le condizioni di pieno carico, le oscillazioni di regime del motore e del cambio in funzione del tempo. Le oscillazioni all'uscita del motore e all'entrata del cambio hanno pressoché la stessa ampiezza e frequenza, causando, in caso di sovrapposizione (gamma di risonanza), rumori della trasmissione e rimbombo della carrozzeria.

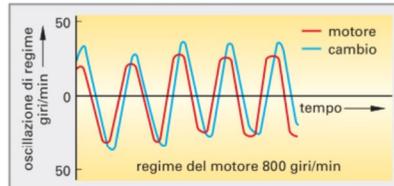


Figura 1: Linee di oscillazione per una massa centrifuga convenzionale

Struttura (fig. 2)

La massa centrifuga convenzionale è suddivisa in **massa centrifuga primaria** (manovellismo, volano primario) e **massa centrifuga secondaria** (volano secondario, frizione).

L'ammortizzatore delle vibrazioni torsionali collega le due masse centrifughe. Esso ha il compito di disaccoppiare il sistema delle masse centrifughe del motore dal cambio e dalla trasmissione. Per tale motivo, per la frizione si può utilizzare un disco senza ammortizzatore di torsione.

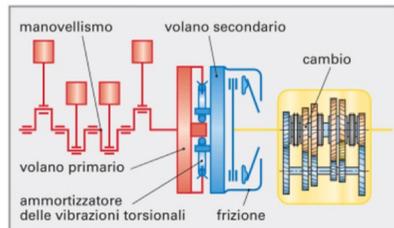


Figura 2: Sistema di oscillazione a due masse

Il volano a due masse (fig. 3) è composto da:

- volano primario; ● ammortizzatore interno;
- volano secondario; ● ammortizzatore esterno.

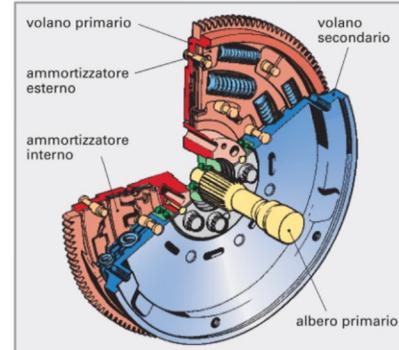


Figura 3: Volano a due masse

Funzionamento

La suddivisione in massa centrifuga primaria sul lato del motore e massa centrifuga secondaria sul lato della trasmissione aumenta il momento d'inerzia delle parti rotanti del cambio. Di conseguenza, il campo di risonanza rimane inferiore al numero di giri al minimo del motore e, quindi, non si colloca nell'intervallo d'esercizio del motore.

Dal diagramma (fig. 4) si può notare come la curva di oscillazione del motore e dell'entrata nel cambio divergono chiaramente.

In questo modo si impedisce alle vibrazioni torsionali prodotte dal motore di raggiungere il cambio, evitando così l'insorgere dei rumori precedentemente descritti.

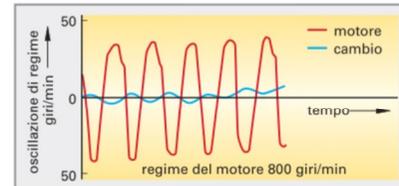


Figura 4: Linee di oscillazione di un sistema a due masse

Vantaggi

- Diminuzione di rumori del cambio e della carrozzeria (rimbombo, vibrazioni).
- Protezione dei componenti della trasmissione.
- Minore usura dei sincronizzatori.
- Il disco della frizione non necessita di un ammortizzatore di torsione.

11.4 Sistemi di lubrificazione

Il sistema di lubrificazione deve fornire alle diverse parti del motore una sufficiente quantità di olio lubrificante. A tale scopo è necessario assicurare al sistema la giusta pressione.

Compiti

- **Lubrificare**, per ridurre le perdite di energia e diminuire l'usura generata dall'attrito fra le parti.
- **Raffreddare**, per proteggere dal surriscaldamento le parti del motore che non sono in grado di cedere direttamente il calore al liquido o all'aria di raffreddamento.
- **Migliorare l'ermeticità** tra le parti che scorrono l'una sull'altra (le fasce elastiche rispetto alla parete del cilindro).
- **Pulire**, evacuando il materiale asportato per sfregamento, i depositi e i residui della combustione oppure legandoli all'olio in modo tale da non danneggiare il motore.
- **Proteggere dalla corrosione**.
- **Attenuare i rumori del motore** grazie all'effetto fonoassorbente dello strato lubrificante.

Sollecitazioni dell'olio lubrificante

L'olio lubrificante nel motore è esposto ad elevate sollecitazioni termiche, chimiche e meccaniche (fig. 2, pag. 239).

L'inquinamento meccanico da polveri, materiale metallico asportato per sfregamento e residui di combustione può essere eliminato quasi completamente mediante l'utilizzo di filtri idonei. Di seguito, i motivi per effettuare un regolare cambio dell'olio.

Invecchiamento dell'olio. L'aria e i gas di combustione penetrano nel basamento passando tra il pistone e il cilindro. L'olio si ossida (invecchia), il che può portare alla formazione di acidi.

Formazione di morchie. Oleoresine, depositi di bitumi, polveri, materiali metallici asportati per sfregamento e residui della combustione disciolti deteriorano l'olio. La formazione di morchie è ulteriormente favorita dalla presenza di condensa ed eventualmente di liquido di raffreddamento, che possono intasare il circuito dell'olio.

Diluizione dell'olio. I componenti del carburante con un elevato punto di ebollizione che giungono nell'olio, soprattutto a motore freddo, portano a una diluizione dell'olio.

Addensamento dell'olio. La forte ossidazione dell'olio e la presenza in quest'ultimo di particelle di fuliggine possono causare un addensamento dell'olio, soprattutto nei motori Diesel.

Consumo di olio. Ogni motore ha un certo consumo d'olio considerato normale, che deve essere compensato. Questo consumo è principalmente

causato da quella piccola quantità di olio che raggiunge la camera di combustione (olio presente sulle pareti dei cilindri e olio che trafila dalle guide delle valvole), nella quale è bruciato. È quindi necessario eseguire controlli regolari del livello procedendo, se serve, al rabbocco. Il cambio dell'olio va effettuato in base a quanto prescritto dal libretto di manutenzione del costruttore o all'indicazione della spia.

Sistemi di lubrificazione. Nei motori a quattro tempi si distingue tra:

- lubrificazione a circolazione forzata;
- lubrificazione a carter secco.

Nei motori a due tempi, invece, si distingue tra:

- lubrificazione per miscelazione;
- lubrificazione separata.

Punti da lubrificare. Le parti del motore a cui il sistema di lubrificazione deve fornire olio sono le seguenti: cuscinetti di banco, cuscinetti di biella, alloggiamenti degli spinotti, punterie, cuscinetti dell'albero a camme, superfici di scorrimento delle camme, bilancieri, catena di distribuzione, tendicatena, superficie di scorrimento del cilindro e turbocompressore a gas di scarico (fig. 1).

11.4.1 Lubrificazione a circolazione forzata

È quella utilizzata più spesso. Una pompa aspira l'olio dalla coppa tramite un pescante dotato di un filtro a rete e lo distribuisce sotto pressione attraverso i condotti e i canali di lubrificazione ai punti di lubrificazione del motore. I motori moderni pos-

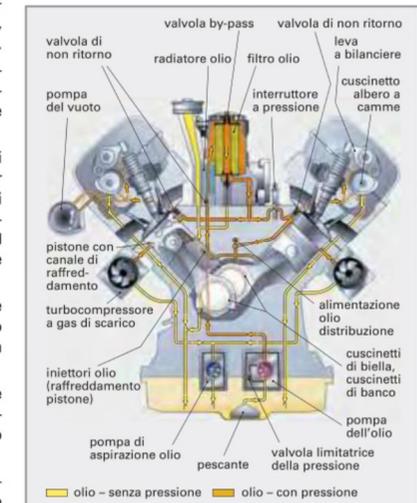


Figura 1: Lubrificazione a circolazione forzata

Pompa a ingranaggi (fig. 3, pag. 234)

L'olio è aspirato e accumulato nei vani interdentali e, in seguito, trasportato lungo la parete interna della pompa fino a raggiungere il lato opposto. L'ingranaggio dei denti delle due ruote dentate impedisce il ritorno dell'olio. Sul lato dell'aspirazione si avrà una depressione, su quello di mandata una sovrappressione.

Pompa a ingranaggi eccentrici (fig. 1). È un tipo particolare di pompa a ingranaggi. Di norma, la ruota dentata interna è collegata direttamente all'albero motore. La ruota dentata esterna, che poggia sul corpo della pompa, è disposta eccentricamente rispetto alla ruota dentata interna. Questa disposizione permette di ottenere una camera di aspirazione e una di pressione, separate da una mezzaluna. L'olio è convogliato nei vani interdentali situati sia lungo il lato superiore, sia lungo il lato inferiore della mezzaluna.

Vantaggio della pompa a ingranaggi eccentrici rispetto alla tradizionale pompa a ingranaggi:

- maggiore portata, soprattutto a bassi regimi di rotazione del motore.

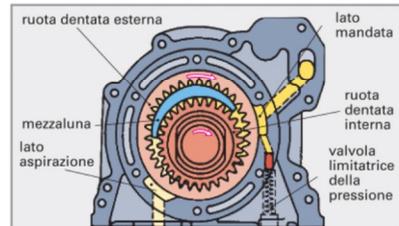


Figura 1: Pompa a ingranaggi eccentrici

Pompa a rotore (fig. 2). È dotata di un rotore esterno a dentatura interna e di un rotore interno a dentatura esterna. Il rotore interno ha un dente in meno rispetto al rotore esterno ed è collegato all'albero motore.

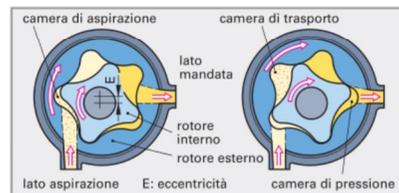


Figura 2: Funzionamento della pompa a rotore

La dentatura del rotore interno è concepita in modo tale che ogni dente tocchi il rotore esterno, rendendo stagni gli spazi che si vengono a formare. Il movimento rotatorio dei rotori fa in modo che, sul lato dell'aspirazione, il volume delle camere aumenti

costantemente e, di conseguenza, la pompa aspira. Sul lato di mandata, invece, il volume delle camere si riduce e l'olio è spinto sotto pressione nel canale di uscita. La riduzione contemporanea del volume di più camere, in corrispondenza del canale di uscita, permette alla pompa di produrre una mandata regolare, raggiungendo notevoli pressioni.

Pompa a rotore con regolazione della mandata

Struttura. Tra l'anello del rotore e il corpo della pompa c'è un ulteriore anello di regolazione che ruota in funzione della pressione dell'olio e dell'apposita molla tarata (fig. 3). Tale pompa consente di mantenere invariata la pressione dell'olio, a prescindere dalle condizioni di funzionamento del motore, e assicura un apprezzabile risparmio energetico.

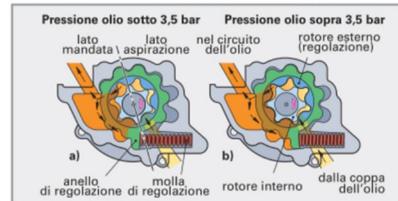


Figura 3: Pompa a rotore con regolazione della mandata

Pressione dell'olio insufficiente. Se la pressione dell'olio scende al di sotto del limite (3,5 bar), la molla tarata ruota l'anello di regolazione in direzione opposta alla mandata (fig. 3a): il volume tra il rotore interno e quello esterno si ingrandisce, la quantità d'olio trasportata dal lato di aspirazione a quello di mandata aumenta e la pressione sale.

Pressione dell'olio eccessiva. Se la pressione dell'olio supera il valore limite, essa preme contro l'anello di regolazione e schiaccia le molle (fig. 3b): il volume tra il rotore interno e quello esterno diminuisce, la quantità d'olio trasportata dal lato di aspirazione a quello di mandata si riduce e la pressione scende.

Manometro e spia della pressione dell'olio

Servono al monitoraggio della pressione dell'olio. Entrambi sono posizionati tra la pompa dell'olio e i supporti dell'albero motore.

Manometro. Permette la lettura diretta e in tempo reale della pressione dell'olio. Per rendere possibile la misurazione, è necessario che sulla condotta di mandata a valle della pompa sia installato un sensore di pressione.

Spia della pressione dell'olio. Si spegne quando il motore è in funzione e indica al conducente se nel circuito vi è una sufficiente pressione dell'olio. Quando l'olio proveniente dalla condotta di mandata preme sul dispositivo di commutazione, il collegamento a massa della spia si interrompe ed essa si spegne (fig. 1, pag. 236).

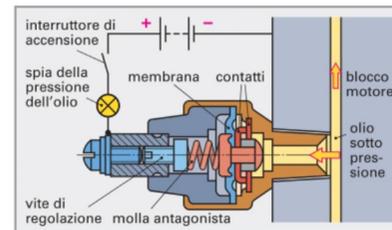


Figura 1: Interruttore a pressione per la spia pressione olio

Valvola limitatrice della pressione

È situata a valle della pompa dell'olio e impedisce all'olio di raggiungere valori di pressione troppo elevati (> circa 5 bar). Un'elevata pressione dell'olio non è di fatto indice di una buona lubrificazione. A motore freddo, nonostante l'elevata pressione, la lubrificazione è peggiore rispetto alla condizione di bassa pressione dell'olio a motore caldo. Anche in caso di otturazione di uno o più canali dell'olio o del filtro, la pressione dell'olio risulta alta, ma la lubrificazione è pessima. Una pressione troppo elevata può danneggiare le guarnizioni di tenuta, i tubi flessibili verso il radiatore e i filtri.

Filtri dell'olio

Servono a impedire il degrado precoce dell'olio lubrificante dovuto a impurità solide, per esempio particelle metalliche asportate per sfregamento, fuliggine e polvere (cfr. par. 1.6.3). I filtri dell'olio non sono in grado di trattenere liquidi o impurità disciolte nell'olio; inoltre, non hanno influsso sulle variazioni chimico-fisiche dell'olio durante il funzionamento del motore dovute, per esempio, ad obsolescenza. A seconda della loro disposizione nel circuito dell'olio, si distinguono filtri in serie e filtri in derivazione.

Filtri in serie (fig. 2). Nel sistema di filtraggio in serie, tutto l'olio che raggiunge gli organi da lubrificare è filtrato. Per assicurare un flusso sufficiente, la resistenza del filtro (porosità) non deve essere

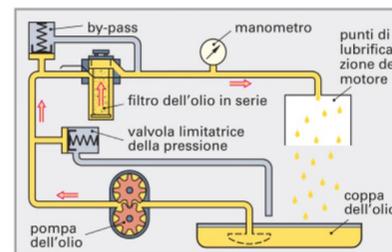


Figura 2: Filtro dell'olio a portata totale

troppo elevata; tuttavia, si riduce il potere filtrante e le microimpurità non possono essere tratteneute separate dall'olio.

Valvola by-pass (fig. 3). In caso di ostruzione del filtro, l'olio non filtrato può oltrepassare il filtro e raggiungere i punti di lubrificazione attraverso la valvola by-pass.

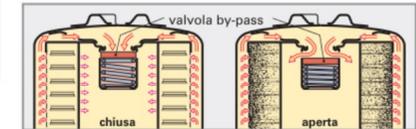


Figura 3: Valvola by-pass

Valvola di non ritorno (fig. 4). È generalmente costituita da una membrana in gomma disposta sopra ai fori di entrata del filtro. Serve a impedire lo svuotamento del filtro a motore spento.



Figura 4: Valvola di non ritorno

Filtri in derivazione (fig. 5). Il filtro è inserito in una condotta collegata in parallelo rispetto a quella del flusso principale. Di conseguenza, è attraversato soltanto da una parte del flusso d'olio (5-10%), per cui agli organi di lubrificazione giunge solo olio parzialmente filtrato. La porosità del filtro può essere ridotta per consentire anche il filtraggio delle microimpurità dal flusso in derivazione.

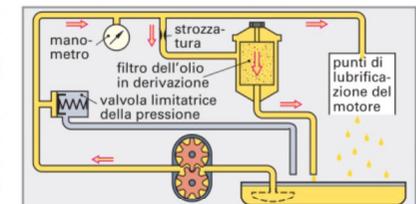


Figura 5: Filtro dell'olio in derivazione

Sistema di filtraggio combinato. Con esso si ottiene la massima efficacia di filtraggio. Viene utilizzato per esempio sui veicoli da cantiere, mentre le autovetture, per motivi di costi, sono tendenzialmente provviste di filtri dell'olio in serie.

Ventilazione del basamento. Nei motori a benzina e soprattutto nei motori Diesel sovralimentati si creano gas di blow-by che, dalla camera di combustione, raggiungono il basamento. Questi gas, contaminati con minuscole gocce d'olio, residui di carburante, vapore acqueo e fuliggine, passano attraverso un separatore dell'olio e ritornano nel col-

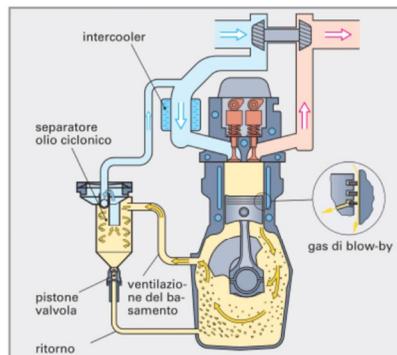


Figura 1: Ventilazione del basamento

lettore di aspirazione. Per ridurre il consumo di olio e proteggere dalle impurità le parti sensibili del motore, riducendone le emissioni, questi gas devono essere depurati prima del ricircolo. Tale operazione avviene nel separatore dell'olio, che può essere a labirinto, ciclonico o a centrifuga (fig. 1).

Sensore dell'olio. Per rilevare esattamente il livello, la temperatura e la qualità dell'olio motore si può installare nella coppa dell'olio (fig. 2) un sensore che si compone di due condensatori immersi nel

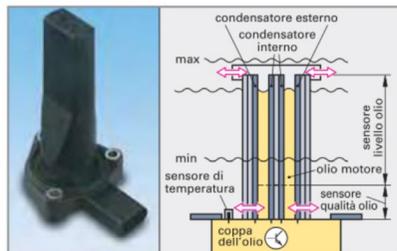


Figura 2: Sensore dell'olio

lubrificante. Nella parte inferiore si valuta la qualità dell'olio, mentre in quella superiore se ne determina il livello.

Principio di misurazione. In caso di variazione della qualità dell'olio, dovuta a usura e degrado degli additivi, si modifica la capacità del condensatore. Il valore della capacità è trasformato in segnale digitale dall'elettronica integrata e quindi trasmesso alla centralina del motore. Li viene elaborato ai fini di calcolare il successivo tagliando per il cambio dell'olio. Il livello dell'olio è comunicato al conducente tramite l'info center.

Temperatura dell'olio. Per misurare la temperatura dell'olio si fa capo a un termistore del tipo NTC direttamente integrato nel componente.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo del livello e cambio dell'olio

Controllo del livello dell'olio con l'astina di livello. Il livello dovrebbe essere compreso tra le marcature max. e min. dell'astina di livello (fig. 3). Il veicolo deve essere in posizione orizzontale.



Figura 3: Astina di livello

Livello dell'olio troppo basso. Occorre effettuare un rabbocco, badando a non superare la marcatura max. dell'astina di livello.

Nelle autovetture, la differenza tra le due marcature è in genere pari a 1 litro.

Livello dell'olio troppo alto. Nei veicoli utilizzati prevalentemente per compiere tragitti brevi, può verificarsi una diluizione dell'olio con il carburante, con conseguente aumento del livello. In tal caso, la misurazione va ripetuta a motore caldo dopo un'utilizzo prolungato del veicolo. Se il livello continua a essere troppo alto, è necessario scaricare o aspirare l'olio in eccesso.

Controllo del livello dell'olio dal display. Se il veicolo è dotato di un sensore dell'olio, il livello viene indicato in tempo reale sul display alla voce "Olio motore". Lì sono specificati anche i chilometri per il successivo tagliando dell'olio.

Consumo di olio

Consumo di olio normale. Il consumo d'olio è considerato normale quando non sono necessari più di 0,1-1,0 litri di olio per 1000 km di marcia. Nei veicoli nuovi, il consumo d'olio può essere maggiore a causa del rodaggio.

Consumo di olio eccessivo. Se per un periodo di tempo prolungato si riscontra un consumo eccessivo di olio, è evidente che vi sia un malfunzionamento meccanico.

- **Paraolio della valvola difettoso.** L'olio trafila nel condotto d'aspirazione o di scarico. La combustione dell'olio produce fumo di colore blu.
- **Gioco assiale tra fascia elastica e scanalatura del pistone.** Il gioco tra i due componenti può aumentare in seguito all'usura. In tal caso, durante il movimento alternato del pistone, la fascia elastica funge da elemento pompante. Questo fenomeno fa sì che l'olio sia "pompato" nella camera di combustione (fig. 1, pag. 238).



Figura 1: Fasce elastiche "pompanti"

L'olio giunge nella camera di combustione, dove è bruciato, producendo un intenso fumo blu. Inoltre, questo movimento del segmento può provocare rumore e usura eccessiva della cava.

• **Guarnizioni del motore danneggiate.** Causano perdite d'olio anche a motore spento. La presenza di chiazze d'olio a terra o impurità nell'olio ne sono un indizio.

Cambio olio

Le case automobilistiche prescrivono il cambio dell'olio a intervalli prestabiliti. La sostituzione può avvenire mediante scarico o aspirazione dell'olio a motore caldo.

Scarico dell'olio motore. L'olio è fatto scendere per gravità dal foro di scarico sul fondo della coppa. La guarnizione del tappo di scarico dell'olio va sostituita. Se nel tappo di scarico è integrato un separatore magnetico, occorre eliminare i residui metallici rimasti adesi alla sua superficie.

Aspirazione dell'olio motore. In questo caso si inserisce una sonda d'aspirazione nella coppa, che aspira l'olio nell'arco di 5-10 min. Nella coppa rimane una quantità d'olio residua di circa 0,5 litri che va considerata nel rabboccare il giusto quantitativo previsto dal libretto d'uso e manutenzione. Se la sonda non pesca dal punto più profondo della coppa dell'olio, le impurità che si depositano non sono eliminate.

Cambio del filtro. Come per il cambio dell'olio, anche quello del filtro è prescritto dalla casa automobilistica a determinati intervalli.

Filtri intercambiabili. Per smontarli occorrono delle apposite chiavi speciali (fig. 2). Nell'installare il filtro intercambiabile occorre considerare quanto segue:

- oliare leggermente l'anello di tenuta del nuovo filtro dell'olio, in modo tale che al successivo smontaggio non rimanga incollato alla superficie di tenuta;
- serrare il filtro a mano.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Elencate i vantaggi della lubrificazione a carter secco.
- 2 Quali tipi di pompe dell'olio esistono?

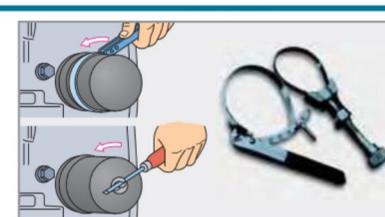


Figura 2: Smontaggio di un filtro intercambiabile: espansori

Filtro olio a cartuccia. Occorre aprire il coperchio del modulo filtro. La nuova cartuccia deve essere fissata correttamente e l'anello di tenuta del coperchio del modulo filtro deve essere sostituito.

Riempimento olio. Utilizzare esclusivamente i tipi di olio approvati dalla casa automobilistica. Una volta rabboccata la quantità di olio prescritta, effettuare un controllo del livello. La tenuta va verificata a motore acceso.

Olio esausto e filtri usati. Devono essere stoccati e smaltiti in maniera ecologica.

Verifica della pressione dell'olio

Si controlla la pressione dell'olio e il corretto funzionamento del relativo interruttore a un determinato numero di giri. L'interruttore di pressione dell'olio è avvitato a un apposito adattatore, che è innestato al posto dell'interruttore (fig. 3).

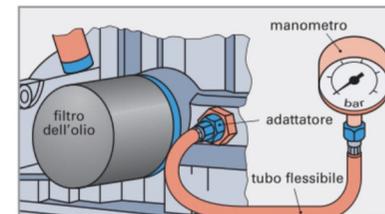


Figura 3: Verifica dell'interruttore di pressione dell'olio e della pressione

A motore spento, la spia deve essere accesa. Essa si spegne nel momento in cui, a motore acceso, il manometro indica una pressione di 0,3-0,6 bar. In caso di risultato negativo è necessario sostituire l'interruttore di pressione. A un regime motore di 2.000 giri/min e una temperatura dell'olio di 80 °C, la pressione deve essere pari ad almeno 2 bar.

- 3 Citate due vantaggi delle pompe di regolazione della mandata.
- 4 Quali tipi di filtri dell'olio esistono?
- 5 Quali valori è in grado di misurare un sensore dell'olio? Spiegate il funzionamento.

11.5 Il raffreddamento

Nei motori a combustione, il sistema di raffreddamento ha le seguenti funzioni: riscaldare rapidamente il motore portandolo alla temperatura di funzionamento ottimale e asportare il calore eccessivo sviluppato in fase di esercizio.

Circa un terzo dell'energia calorica prodotta dalla combustione è assorbita dai componenti (pistoni, valvole, cilindri, testata, turbocompressore e olio motore) e, vista la limitata resistenza al calore dei materiali e dell'olio, deve essere asportata e ceduta. Anche i motori Diesel e a benzina a iniezione diretta riescono a sfruttare nei migliori dei casi solo il 43% dell'energia racchiusa nel carburante ai fini della trazione. Il resto si perde sotto forma di calore (fig. 1).

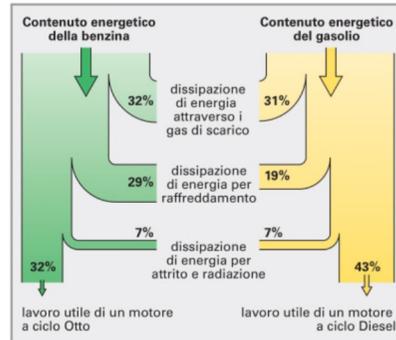


Figura 1: Diagrammi di Sankey

L'energia termica non è prodotta solo con la combustione del carburante all'interno dei cilindri. Anche l'attrito, tra i componenti mobili del motore e della trasmissione, trasforma parte dell'energia meccanica prodotta in energia termica, che non può più essere sfruttata ai fini dell'autotrazione (fig. 2).

Temperatura d'esercizio

Nel caso di avviamento a freddo di un motore, la carburazione diventa ottimale soltanto nel momento in cui il motore e i suoi componenti hanno raggiunto una determinata temperatura.

La temperatura massima di un motore, dipende fondamentalmente dalla capacità termica dell'olio e dal tipo di materiale utilizzato per la costruzione del motore. In genere, i motori automobilistici lavorano a una temperatura del refrigerante di 80-90 °C (fig. 2). I nuovi sistemi di raffreddamento, regolati tramite diagrammi caratteristici, consentono di raggiungere temperature d'esercizio fino a circa 120 °C, con conseguente riduzione del consu-

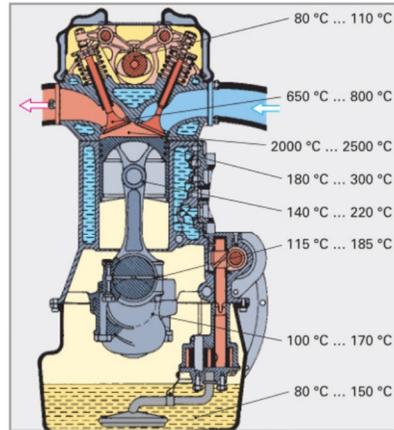


Figura 2: Temperature dei componenti con $T_{\text{refrigerante}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$

mo di carburante grazie a un minore attrito e a una migliore carburazione alle più alte temperature.

I requisiti del sistema di raffreddamento sono:

- sufficiente effetto refrigerante;
- rapido raggiungimento della temperatura d'esercizio;
- peso ridotto;
- raffreddamento omogeneo delle singole parti per evitare sollecitazioni termiche;
- ridotto fabbisogno energetico per il funzionamento.

Un buon raffreddamento, pertanto, garantisce:

- un miglior riempimento dei cilindri;
- una diminuzione della tendenza al battito in testa nei motori a ciclo Otto;
- una maggiore compressione;
- una maggiore potenza e un minor consumo di carburante;
- temperature d'esercizio più uniformi.

11.5.1 Tipi di raffreddamento

Si distinguono i seguenti tipi di raffreddamento.

Raffreddamento ad aria

- Raffreddamento a ventilazione dinamica.
- Raffreddamento mediante ventilatore.

Raffreddamento a liquido

- Raffreddamento per convezione.
- Raffreddamento a circolazione forzata.

Raffreddamento interno

- Il carburante, evaporando, sottrae calore alla camera di combustione.

Attualmente, a seguito delle accresciute potenze specifiche e dei regimi di rotazione più elevati, nonché alla disposizione dei motori in spazi relativamente chiusi, il raffreddamento avviene mediante circolazione forzata di liquido.

Al giorno d'oggi, il raffreddamento ad aria è previsto soltanto in alcuni tipi di motori per motociclette, motori aeronautici e stazionari.

11.5.2 Raffreddamento ad aria

Nei raffreddamento ad aria, il calore da asportare è ceduto all'aria circostante direttamente dalle superfici delle diverse parti del motore.

Raffreddamento a ventilazione dinamica (fig. 1). È il metodo più semplice. È utilizzato spesso per le motociclette, in quanto i loro motori, durante lo spostamento del veicolo, sono lambiti dall'aria. Per ottenere il maggior raffreddamento possibile, il passaggio di calore all'aria circostante è agevolato dalla presenza di apposite alette che massimizzano la superficie di raffreddamento. Ecco perché cilindro, testata e spesso anche il carter del motore sono provvisti di alette di raffreddamento.



Figura 1: Motore raffreddato ad aria con alette di raffreddamento

Raffreddamento con ventilatore. Permette un sufficiente scambio termico forzato nei motori che non sono circondati dalla corrente d'aria durante la marcia. Un ventilatore, azionato dal motore mediante cinghia trapezoidale, raffredda uniformemente con l'aria i singoli cilindri mediante appositi deflettori in lamiera (per esempio, su uno scooter).

Vantaggi del raffreddamento ad aria

- Costruzione semplice.
- Minor peso.
- Non è necessario il liquido di raffreddamento con antigelo.
- Praticamente esente da manutenzione.

Svantaggi del raffreddamento ad aria

- Maggiori variazioni di temperatura durante il funzionamento.

- Elevata potenza necessaria per il trascinamento del ventilatore (circa il 3-4% della potenza del motore).
- Maggior rumorosità dovuta al ventilatore e alla mancanza della doppia parete contenente il liquido di raffreddamento.
- Riscaldamento dell'abitacolo irregolare e molto ritardato.
- Convezione termica non ottimale tra alette di raffreddamento e aria.
- Non è regolabile.

11.5.3 Raffreddamento a liquido

Nei raffreddamento a liquido, il trasporto di calore avviene per mezzo di un liquido di raffreddamento. Esso assorbe il calore sviluppato dai singoli componenti e lo cede all'aria circostante attraverso il radiatore.

Nel raffreddamento a liquido, il blocco cilindri e la testata sono realizzati a parete doppia oppure hanno dei canali di raffreddamento. In queste cavità circola il liquido di raffreddamento, il quale assorbe dalle pareti il calore da asportare. Attraverso tubi flessibili, il liquido passa nel circuito di raffreddamento e confluisce in un radiatore attraversato dall'aria. Tramite le lamelle del radiatore, il liquido di raffreddamento cede all'aria circostante il calore assorbito nel motore. Una volta raffreddatosi nuovamente, il liquido ritorna al motore per assorbire altro calore. Se il flusso avviene esclusivamente per effetto della variazione di densità del liquido refrigerante, si parla di **raffreddamento per convezione** o raffreddamento a termosifone. Allo spegnimento di un motore caldo, questo effetto è sfruttato al fine di prolungare il raffreddamento. Esso si basa sul principio che l'acqua calda ha una densità minore dell'acqua fredda e quindi sale verso l'alto. Il liquido refrigerante circola senza l'ausilio di pompe. Per i motori odierni, questo tipo di raffreddamento non è indicato: oggi, infatti, si utilizzano esclusivamente sistemi a pompa, i cosiddetti **raffreddamenti a circolazione forzata** (fig. 1, pag. 241). In essi, il liquido di raffreddamento viene messo in circolazione attraverso il circuito mediante una pompa.

Vantaggi del raffreddamento a liquido

- Raffreddamento più omogeneo.
- Miglior raffreddamento grazie alla maggior conducibilità termica del liquido rispetto all'aria.
- Buon assorbimento dei rumori della combustione grazie all'effetto fonoassorbente del liquido.
- Consente un buon riscaldamento dell'abitacolo.

Svantaggi del raffreddamento a liquido

- Necessità di manutenzione.
- Fase di riscaldamento prolungata.

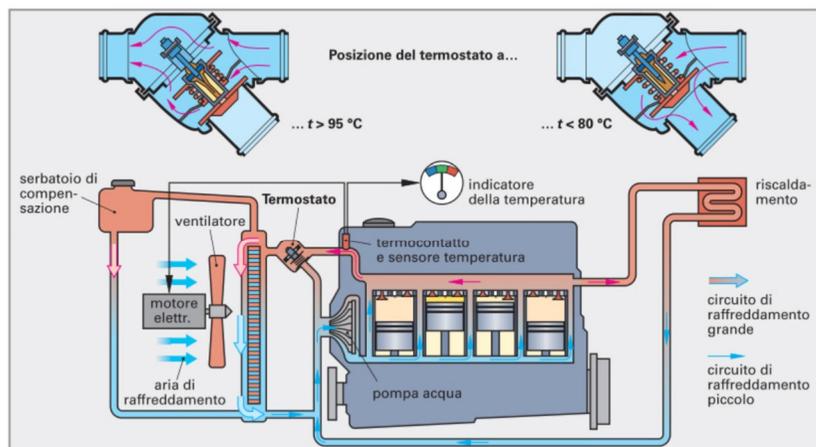


Figura 1: Raffreddamento a circolazione forzata con termostato con materia dilatabile e valvola doppia in fase di avviamento a freddo

Mediante una valvola termostatica, il liquido refrigerante può essere convogliato in un circuito piccolo o in uno grande.

Motore freddo. A motore freddo, la pompa invia il liquido refrigerante attorno alle pareti dei cilindri e, tramite appositi canali, giunge alla testata. Da qui ritorna, attraverso il termostato ancora chiuso, alla pompa. Se il riscaldamento della vettura è acceso, a seconda della posizione della valvola di regolazione, una parte del liquido ritorna alla pompa attraverso lo scambiatore di calore del riscaldamento (**circuito di raffreddamento piccolo**).

Motore caldo. Quando il motore raggiunge la sua temperatura di funzionamento, il termostato apre il passaggio verso il radiatore (**circuito di raffreddamento grande**). A questo punto, tramite il termostato, il liquido di raffreddamento caldo confluisce nel radiatore e ritorna nella pompa. Il contenuto del serbatoio di compensazione mantiene costante il livello del liquido nel sistema di raffreddamento.

Temperatura del liquido di raffreddamento. In funzione delle condizioni di esercizio del veicolo e a seconda della casa costruttrice, essa è pari a:

- circa 100-120 °C nelle automobili;
- circa 90-95 °C nei veicoli industriali.

Nel sistema di raffreddamento, le sovrappressioni massime attualmente consentite sono:

- per le automobili attorno a 1,3-2 bar;
- per i veicoli industriali attorno a 0,5-1,1 bar.

Una sovrappressione nel circuito di raffreddamento consente di innalzare la temperatura del liquido

senza che quest'ultimo vada in ebollizione. Grazie al conseguente aumento della temperatura del motore, è possibile incrementare la potenza e al contempo ridurre consumi ed emissioni. Nei motori a ciclo Otto, l'aumento della temperatura è tuttavia limitato dalla tendenza al battito in testa.

Liquido di raffreddamento. È in genere una miscela di acqua distillata e liquido antigelo contenente additivi anticorrosione, adattata al tipo di veicolo (**cf. pag. 39, par. 1.8.7**).

La quantità di liquido presente nel circuito di raffreddamento equivale a circa 4-6 volte il volume della cilindrata totale del motore ed è fatta circolare da dieci a quindici volte al minuto. A seconda della potenza del motore, nelle automobili sono fatti circolare fra i 4000 e i 18.000 l/h di liquido di raffreddamento e nei veicoli industriali tra gli 8000 e i 32.000 l/h. In tal modo, in condizioni di rapida cessione del calore, la differenza di temperatura fra l'entrata e l'uscita del liquido nel motore è di appena 5-7 °C, diminuendo di fatto le sollecitazioni termiche nello stesso.

11.5.4 Componenti del sistema

Termostato del liquido di raffreddamento (termoregolatore). La continua commutazione dal circuito di raffreddamento piccolo al circuito di raffreddamento grande, e viceversa, permette al motore di raggiungere rapidamente la sua temperatura di funzionamento e di mantenerla costante indipendentemente dal carico motore, dal regime di rotazione, dalla velocità del veicolo e dalla temperatura ambiente.

La regolazione influisce significativamente su:

- consumo di carburante;
- composizione dei gas di scarico;
- usura dei componenti meccanici.

Il termostato può essere montato sia in un bocchettone del liquido refrigerante del motore, sia nel tubo di mandata o di ritorno.

Termostato a doppia valvola (**fig. 1**) (termostato a due vie). Attualmente è il più utilizzato. All'aumentare della temperatura, questo termostato consente di deviare la portata di liquido refrigerante dal circuito piccolo a quello grande tramite il radiatore, chiudendo il condotto di by-pass verso la pompa dall'acqua.

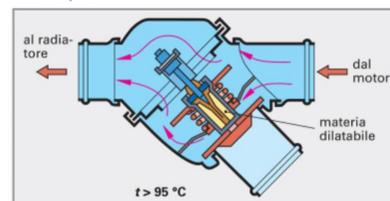


Figura 1: Termostato con materia dilatabile e doppia valvola, a motore caldo

Termostato a cera. Nei modelli comunemente utilizzati, un elemento in materia dilatabile apre e chiude le valvole di comando. L'elemento in materia dilatabile (**fig. 2**) consiste in una capsula metallica resistente alla compressione riempita con del materiale ceroso dilatabile. Sulla capsula è montata una valvola che, a motore freddo, chiude il passaggio al radiatore.

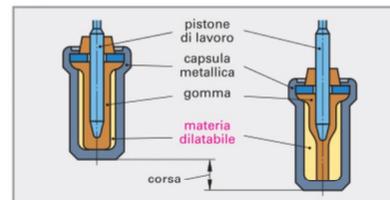


Figura 2: Elemento dilatabile

Con temperatura del liquido di raffreddamento a circa 80 °C, il materiale ceroso dilatabile nella capsula si fonde e aumenta di volume in maniera significativa. Di conseguenza, la capsula metallica si sposta sul pistone fisso, aprendo la valvola per il passaggio al radiatore e chiudendo contemporaneamente la valvola nel condotto di by-pass. Con una temperatura del liquido di circa 95 °C, il radiatore è completamente inserito. Al diminuire della temperatura, una molla spinge indietro la capsula metallica sul pistone, chiudendo la valvo-

la per il passaggio verso il radiatore e riaprendo contemporaneamente la valvola verso il condotto di by-pass. Grazie alla continua azione di apertura e chiusura alternata del termostato, la temperatura del liquido di raffreddamento oscilla in un intervallo molto ridotto, mantenendo pressoché costante la temperatura del motore.

L'elemento dilatabile lavora in modo indipendente dalla pressione che regna nel sistema di raffreddamento ed è quindi in grado di garantire una forza sufficientemente elevata per il posizionamento delle valvole.

Pompa del liquido di raffreddamento (**fig. 3**). Si tratta generalmente di una pompa centrifuga (pompa radiale, pompa idrodinamica).

Nel corpo della pompa, riempito di liquido di raffreddamento, gira una ruota a pale che funge da girante. Il liquido di raffreddamento è aspirato al centro della girante e, grazie alla forza centrifuga, inviato verso l'esterno (latte mandata).

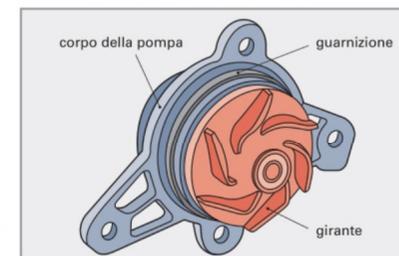


Figura 3: Pompa del liquido di raffreddamento

L'azionamento della pompa del liquido di raffreddamento avviene generalmente tramite l'albero motore, grazie a una cinghia trapezoidale. In alternativa, l'azionamento può avvenire tramite un motore elettrico (**cf. pag. 246, par. 11.5.5**).

Un sistema d'azionamento della pompa, gestito elettronicamente in funzione della temperatura del liquido di raffreddamento, adatta - grazie alla portata variabile della pompa - il fabbisogno di liquido alla quantità di calore da asportare. La minore potenza assorbita dalla pompa consente di ridurre consumi ed emissioni.

Ventilatore. Ha il compito di fornire al radiatore e al vano motore una sufficiente quantità d'aria di raffreddamento nel momento in cui la ventilazione dinamica non è più sufficiente, come in condizioni di marcia a bassa velocità oppure a vettura ferma.

Ventilatore ad azionamento fisso. Il ventilatore può essere fisso sull'albero della pompa dell'acqua (**fig. 1, pag. 243**) o essere azionato dall'albero motore, tramite la cinghia trapezoidale, insieme alla pompa dell'acqua e a eventuali altri organi accessori.

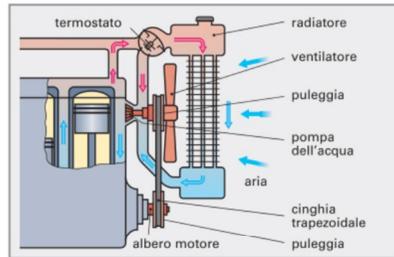


Figura 1: Ventilatore fisso

Ventilatore ad inserimento variabile. La quantità d'aria prodotta è in funzione della velocità di marcia e delle condizioni di funzionamento del motore. Per risparmiare energia (nelle automobili circa 2-3 kW), in molti motori si utilizza un ventilatore inseribile o un ventilatore a velocità variabile.

Come azionamenti variabili si utilizzano:

- motori elettrici con comando in funzione della temperatura o con regolazione della velocità;
 - azionamento tramite cinghia trapezoidale con innesti azionati mediante interruttore termico (per esempio, innesti a frizione magnetica o a giunto viscoso);
 - ventilatori idraulici.
- Vantaggi dei ventilatori ad inserimento variabile:
- riduzione del consumo di carburante;
 - aumento della potenza utile;
 - riduzione del rumore del ventilatore;
 - raggiungimento più rapido della temperatura di funzionamento;
 - temperatura di funzionamento costante.

Ventilatori ad azionamento elettrico (fig. 2).

Il ventilatore si trova sull'albero del motore elettrico.

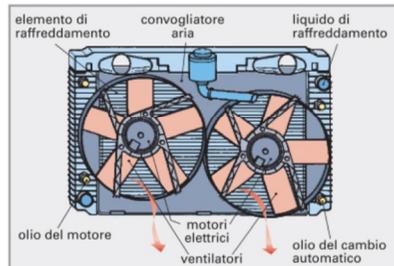


Figura 2: Ventilatore ad azionamento elettrico

Quest'ultimo può essere comandato tramite un interruttore termico a contatto con il liquido di raffreddamento. Il regime di rotazione del ventilatore può anche essere regolato a più stadi in funzione della temperatura del motore, oppure può essere a

regolazione continua.

Vantaggi aggiuntivi dell'azionamento con motore elettrico:

- l'inserimento del ventilatore può essere mantenuto anche dopo lo spegnimento del motore allo scopo di impedire che esso si surriscaldi per post-riscaldamento;
- la possibilità di sistemare il radiatore è indipendente dalla posizione del motore.

Accoppiamento a giunto viscoso (fig. 3). Si tratta di un altro sistema di inserimento variabile del ventilatore. In questo caso, il ventilatore è solidale al corpo d'accoppiamento.

Nel mozzo del ventilatore del giunto viscoso si trovano, separati da un disco intermedio, una camera di lavoro e una camera di riserva. Nella camera di lavoro gira il disco di trascinamento, il quale è solidale al relativo albero ed è comandato dalla cinghia trapezoidale. La trasmissione della forza è resa possibile grazie all'olio al silicone. Una valvola comandata da un bimetallo consente lo scambio dell'olio fra la camera di riserva e la camera di lavoro.

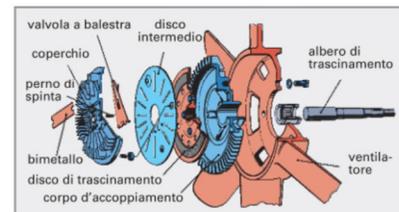


Figura 3: Giunto viscoso del ventilatore

Il corpo della pompa posizionato sul disco intermedio assicura la circolazione tra le due camere. A motore freddo (fig. 4), il foro della valvola sul disco intermedio è chiuso dalla valvola bimetallica, in modo da prevenire la circolazione tra camera di riserva e camera di lavoro.

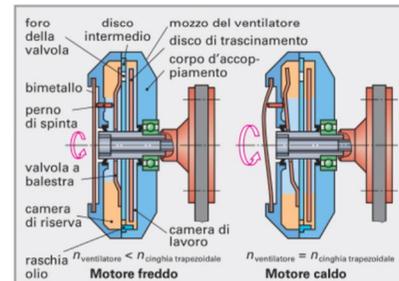


Figura 4: Giunto viscoso, condizioni di funzionamento

L'olio al silicone viene dunque fatto fuoriuscire dalla camera di lavoro ad opera del corpo del raschiaolio e convogliato nella camera di riserva, nella quale il livello di riempimento aumenta nonostante la forza centrifuga. La puleggia motrice non ha quindi più nessun collegamento al mozzo del ventilatore; il ventilatore è disinnestato e gira solo a causa degli attriti interni. A motore caldo, l'aria dinamica che attraversa il radiatore riscalda il bimetallo posto sul lato anteriore del giunto viscoso e va ad aprire il foro della valvola sul disco intermedio. I livelli di riempimento delle due camere, così, si pareggiano l'uno rispetto all'altro. In seguito al crescente attrito dell'olio al silicone tra puleggia motrice e mozzo del ventilatore, si genera una trasmissione idraulica della forza. A causa della costante differenza di rotazione tra la puleggia motrice (2000 giri/min) e il corpo d'accoppiamento (1900 giri/min), il corpo pompa del disco intermedio attiva la circolazione dell'olio al silicone.

Azionamento idraulico

Il ventilatore è azionato da un motore idraulico (fig. 1). Generalmente l'olio viene portato in pressione dalla pompa idraulica tandem del servosterzo: una parte genera la pressione necessaria per azionare il ventilatore, l'altra quella per il servosterzo. Attraverso una valvola di regolazione controllata dalla centralina del motore, a seconda della temperatura di quest'ultimo e della velocità del veicolo, è possibile convogliare il flusso d'olio verso il motore idraulico del ventilatore. Il regime di rotazione del ventilatore può pertanto essere variato in piena libertà dalla centralina di gestione motore.

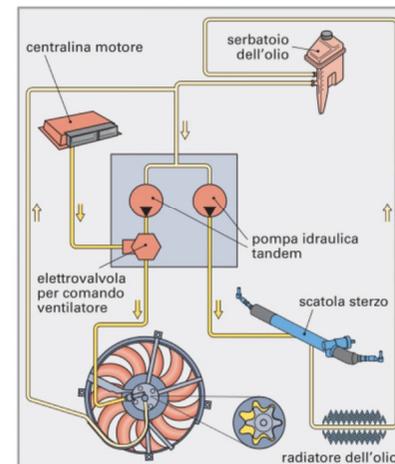


Figura 1: Ventilatore a motore idraulico

Il radiatore

Il radiatore ha il compito di cedere all'aria il calore assorbito dal liquido di raffreddamento (fig. 2).

Si utilizzano i seguenti radiatori: radiatore per il liquido di raffreddamento del motore, radiatore per il carburante (diesel), scambiatore di calore aria/aria o aria/liquido per motori sovralimentati (intercooler), radiatori per l'olio motore e per il cambio automatico, radiatore per i gas di scarico (EGR) e radiatore per la climatizzazione (condensatore).

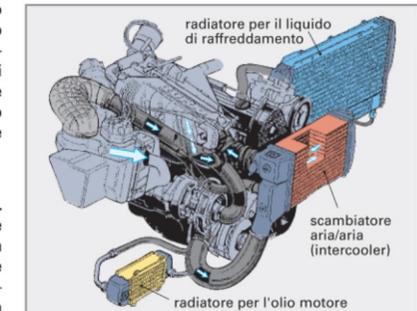


Figura 2: Disposizione dei radiatori (esempio)

Il radiatore (fig. 3) è attraversato direttamente, dall'alto verso il basso, dal liquido di raffreddamento. Esso è composto da una vaschetta del liquido refrigerante superiore e una inferiore, fra le quali è disposto l'elemento di raffreddamento (corpo del radiatore).

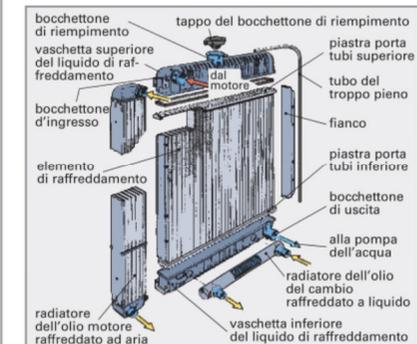


Figura 3: Radiatore

Vaschetta del liquido refrigerante superiore. Qui si trova il bocchettone d'ingresso per il liquido di raffreddamento proveniente dal motore. Questa

vaschetta è spesso provvista anche del bocchettone di riempimento per l'aggiunta di liquido. In essa sporge poi il tubo del troppo pieno, che ha il compito di evacuare il liquido in eccesso e di compensare un'eventuale sovrappressione indesiderata, oppure anche un'eventuale pressione negativa nel sistema di raffreddamento. Il tubo del troppo pieno può essere collegato a un serbatoio di compensazione, in modo da garantire sempre il riempimento di liquido nel sistema di raffreddamento. Il bocchettone di riempimento è chiuso da un tappo (fig. 1, pag. 246).

Vaschetta del liquido refrigerante inferiore. Qui si trova il bocchettone d'uscita per il liquido raffreddato diretto al motore. Possono esserci anche una vite oppure un rubinetto di scarico.

Le vaschette del radiatore sono attualmente realizzate perlopiù in plastica rinforzata con fibra di vetro, ma possono essere realizzate anche in leghe leggere o in leghe rame-zinco. Una guarnizione in elastomero rende ermetica la piastra porta tubi rispetto alla vaschetta del liquido refrigerante. La piastra porta tubi è collegata mediante bordatura alla vaschetta del liquido refrigerante.

Elemento raffreddante. Per permettere una grande superficie raffreddante, il corpo radiante è composto da canali e lamelle disposte a fisarmonica. Sulle vetture a cambio automatico si può trovare uno scambiatore di calore per l'olio del cambio. Inoltre, su vetture ad alte prestazioni, viene inserito un radiatore per l'olio motore.

Tubi in gomma. Il radiatore è collegato elasticamente al motore mediante tubi in gomma resistenti al calore, con interni in tessuto. Nel caso di motore posteriore e radiatore anteriore, si utilizzano tubi di maggior lunghezza in metallo o in plastica.

Supporti del radiatore. Il radiatore è fissato elasticamente al telaio o alla carrozzeria del veicolo mediante giunzioni di gomma-metallo in modo da essere protetto da urti e vibrazioni.

Radiatore a tubi orizzontali

È un tipo di radiatore utilizzato frequentemente, nel quale le vaschette del liquido refrigerante sono disposte lateralmente sul corpo del radiatore. In questo caso, il liquido di raffreddamento scorre orizzontalmente da un lato all'altro (fig. 1).

Radiatore a tubi orizzontali con scomparti ad alta e a bassa temperatura

Grazie all'inserimento di una separazione in una delle due vaschette del liquido refrigerante e alla disposizione su diverse altezze dei bocchettoni di uscita, esso dispone di due zone di temperatura. Nella parte superiore del radiatore, il sistema di raffreddamento può disporre di una zona ad alta temperatura con un gradiente termico (ΔT) di circa 7 °C.

Nella parte inferiore, è possibile usufruire, grazie a un ulteriore scambiatore di calore, di una zona a bassa temperatura con un gradiente termico totale di circa 20 °C (13 °C + 7 °C), indispensabile per un efficace raffreddamento dell'olio del cambio automatico. Una corrispondente regolazione del termostato, fa sì che l'olio si riscaldi rapidamente grazie al calore del liquido proveniente dal circuito di raffreddamento piccolo, tramite il canale di by-pass.

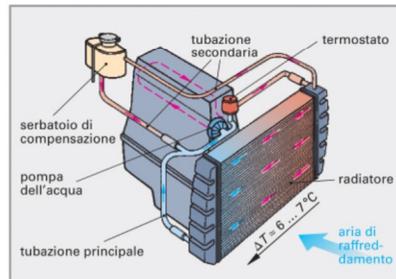


Figura 1: Impianto di raffreddamento con radiatore a tubi orizzontali

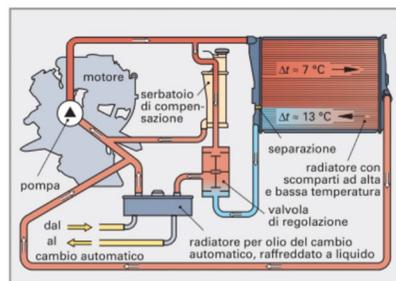


Figura 2: Circuito di raffreddamento con radiatore a tubi orizzontali con scomparti ad alta e a bassa temperatura

Al raggiungimento della temperatura di funzionamento, è garantito un buon raffreddamento dell'olio grazie al liquido proveniente dal circuito a bassa temperatura.

Tappo

È dotato di una valvola di sicurezza contro le sovrappressioni e di una valvola di depressione (fig. 1, pag. 246).

Valvola di sicurezza contro le sovrappressioni. Chiude ermeticamente il sistema di raffreddamento. A seconda del modello e del costruttore, la valvola di sicurezza contro le sovrappressioni si apre soltanto

quando nel sistema di raffreddamento si generano sovrappressioni di circa 0,5-2 bar. Grazie a tale sovrappressione, la temperatura del liquido di raffreddamento può aumentare fino a circa 120 °C senza pericolo di ebollizione.

Valvola di depressione. Durante il raffreddamento del liquido, a causa della relativa riduzione di volume all'interno del sistema di raffreddamento, si genera una depressione, che è compensata dall'apertura della valvola di depressione. Si evita in questo modo che il radiatore e i manicotti subiscano deformazioni.

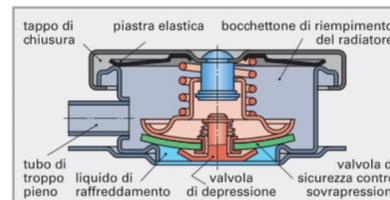


Figura 1: Tappo

11.5.5 Regolazione tramite diagrammi

La regolazione della temperatura tramite diagrammi caratteristici consente di ridurre consumi ed emissioni senza pregiudicare la potenza e la durata del motore. Contemporaneamente si migliora il riscaldamento dell'abitacolo e si riduce il peso.

Caratteristiche di questo sistema

- Il rapido riscaldamento del motore e del catalizzatore riduce la fase di avviamento a freddo, responsabile di consumi ed emissioni maggiori.
- In caso di condizioni di marcia non critiche (carico parziale), la temperatura del motore è innalzata fino a 120 °C, grazie alla minor viscosità dell'olio, si riducono le perdite meccaniche ottimizzando consumi di carburante ed emissioni di sostanze nocive.
- In caso di condizioni di marcia critiche (pieno carico), la temperatura del motore è ridotta al fine di evitare un surriscaldamento degli organi meccanici, accensioni ritardate dovute alla regolazione del battito e decadimento del rendimento volumetrico.

11.5.6 Componenti dei diagrammi

Termostato a comando elettronico (fig. 2)

All'interno dell'elemento dilatante (cfr. par. 11.5.4), è presente un riscaldatore elettrico che, attivato dal dispositivo di comando in base ai parametri d'ingresso, riscalda l'elemento dilatante in aggiunta al calore del liquido di raffreddamento. Tale riscaldamento determina una corsa maggiore e, quindi, un'apertura maggiore del termostato, con conse-

guente riduzione della temperatura del liquido di raffreddamento. I possibili parametri d'ingresso da considerare sono: carico, velocità, temperatura dell'aria, temperatura del liquido di raffreddamento, volume del liquido di raffreddamento, riscaldamento dell'abitacolo e impianto di climatizzazione.

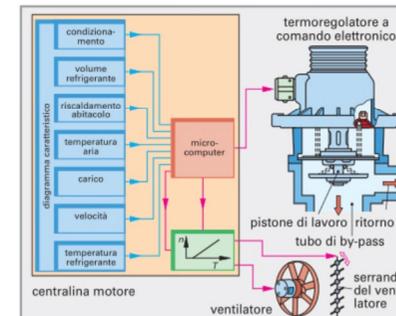


Figura 2: Termostato a comando elettronico

Serranda del ventilatore. Davanti al ventilatore, è posizionata una serranda azionata elettronicamente o tramite un elemento dilatante. In fase di avvio a freddo, la serranda rimane chiusa, cosicché l'aria dinamica non produca alcun raffreddamento. Il motore raggiunge pertanto più rapidamente la temperatura di funzionamento. Nei veicoli con motore Diesel, inoltre, la serranda chiusa attenua i forti rumori della combustione in fase di avvio a freddo. All'aumentare della temperatura del motore, la serranda si apre.

Pompa del liquido di raffreddamento ad azionamento elettrico. Rispetto alle pompe con azionamento a cinghia trapezoidale, presenta i seguenti vantaggi:

- la portata può essere regolata a prescindere dal carico e dalla velocità del motore;
- l'assorbimento di potenza è ridotto ed è pari in media a circa 200 W, rispetto ai 2 kW di una pompa ad azionamento permanente.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Malfunzionamenti, indicazioni per i controlli e la manutenzione

Liquido di raffreddamento troppo caldo. La causa potrebbe essere una perdita di liquido in seguito alla mancanza di ermeticità (di radiatore, tubi o pompa dell'acqua). Una cinghia trapezoidale difettosa o non sufficientemente tensionata fa sì che la pompa dell'acqua trasporti una quantità di liquido insufficiente o nulla. Anche un termostato difettoso, un radiatore particolarmente sporco o un ventilatore malfunzionante comportano un aumento di temperatura del liquido di raffreddamento.

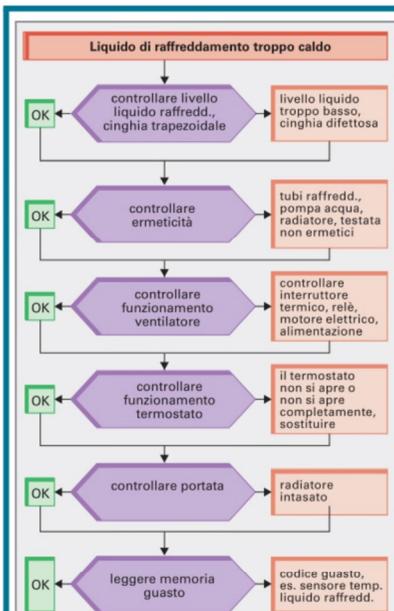


Figura 1: Ricerca guasti per circuito di raffreddamento.

mento. Per circoscrivere l'anomalia, si consiglia di procedere secondo il piano di ricerca guasti (fig. 1, pag. 247).

I radiatori con difetti di tenuta devono essere riparati subito perché la falla potrebbe allargarsi e aumentare la perdita di liquido di raffreddamento. Soltanto i vecchi radiatori in ottone possono essere riparati mediante saldatura. In caso di radiatori in alluminio e perdite di piccola entità, è possibile aggiungere un prodotto sigillante al liquido di raffreddamento. Il liquido trasporta le particelle molto fini del sigillante ai punti difettosi, dove si depositano. Dopo i lavori di manutenzione, il liquido di raffreddamento dovrebbe essere portato alla temperatura di funzionamento.

Aggiunta di liquido di raffreddamento. Si può aggiungere il liquido freddo nel motore caldo soltanto tenendo il motore acceso. Il liquido freddo va immesso lentamente, per evitare tensioni pericolose a livello del blocco motore e della testata.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i vantaggi e gli svantaggi del raffreddamento ad aria e a liquido?
- 2 Come si possono azionare i ventilatori inseribili?

Controllare le proprietà antigelo del liquido di raffreddamento. Con un apposito strumento di misura (rifrattometro), è possibile rilevare il limite di protezione antigelo. Esso dovrebbe essere inferiore a -25°C . In caso di rabbocco, utilizzare esclusivamente l'antigelo consigliato dalla casa costruttrice.

Prova di tenuta. Consiste in un controllo visivo per verificare la tenuta, la porosità, la friabilità e l'assenza di morsi di martora sui tubi flessibili. Per la prova di tenuta con il pressometro (fig. 2), il motore deve essere caldo. Soltanto così, infatti, è possibile individuare eventuali piccole perdite dovute a dilatazione termica.

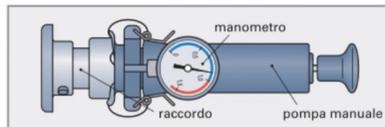


Figura 2: Pressometro

Il pressometro è avvitato al posto del tappo di chiusura. Mediante la pompa manuale, si genera una sovrappressione, che deve rimanere invariata per 2 minuti. Un suo abbassamento indica la presenza di una perdita che occorre eliminare. Con il medesimo strumento, è possibile verificare anche la pressione di apertura del tappo.

Tester CO. L'aria è aspirata dal circuito di raffreddamento. Se il liquido di prova blu diventa giallo, significa che c'è una perdita a livello della testata o della guarnizione della testata.

Termostato. Si controlla il suo funzionamento smontandolo e immergendolo in acqua. L'acqua viene lentamente riscaldata. Con l'aiuto di un termometro, si controlla quando il termostato inizia ad aprirsi.

Termostati regolati tramite diagrammi caratteristici. Una volta smontati, vengono controllati con il tester di sistema tramite una diagnosi degli attuatori.

I radiatori intasati devono essere puliti. L'utilizzo di acqua del rubinetto con alto contenuto di calcare comporta la formazione di incrostazioni che ostacolano il flusso del liquido refrigerante e condizionano negativamente l'asportazione di calore. Si utilizzano, quindi, detergenti chimici, risciacquando poi il radiatore.

Ventilatori con giunto viscoso. Una volta smontati, devono essere conservati unicamente in posizione verticale.

- 3 Quali tipi di radiatore sono utilizzati?
- 4 Elencate i vantaggi di un termostato con regolazione tramite diagrammi caratteristici.

11.6 La distribuzione

La distribuzione ha il compito di comandare il momento e la durata dell'aspirazione della miscela aria-carburante e il momento e la durata dell'espulsione dei gas di scarico.

I momenti sono denominati punti di apertura e di chiusura delle valvole e sono espressi in gradi di rotazione dell'albero motore, per esempio VAa 15° prima del PMS, VAc 42° dopo il PMI (cfr. fig. 2, pag. 206).

11.6.1 Struttura della distribuzione

L'azionamento della distribuzione avviene, tramite cinghia dentata, catena o una serie di ingranaggi, dall'albero motore all'albero a camme. Con l'aiuto di elementi di trasmissione (punterie), gli eccentrici posti sull'albero a camme azionano, contrapponendosi alla forza delle molle, le valvole d'aspirazione e di scarico. Le molle delle valvole garantiscono il richiamo e la chiusura delle valvole. Dato che un ciclo di lavoro si estende su quattro tempi e, quindi, per due giri dell'albero motore, e poiché le valvole durante un ciclo sono azionate una volta sola, l'albero a camme deve compiere la metà dei giri dell'albero motore. L'ingranaggio posto sull'albero a camme possiede perciò il doppio dei denti dell'ingranaggio posto sull'albero motore.

Il rapporto di trasmissione fra albero motore e albero a camme è di 2:1.

Disposizione delle valvole. Si distinguono:

- motore a valvole laterali (fig. 1), motore SV (dall'inglese Side Valves). Il movimento di chiusura delle valvole è orientato nella direzione del PMI. In questo tipo di motore, le valvole sono disposte lateralmente.
- A causa della forma poco vantaggiosa della ca-

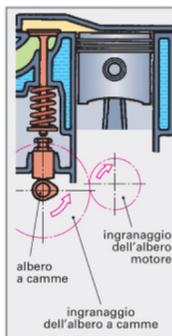


Figura 1: Motore SV



Figura 2: Motore OHV

mera di combustione, esso non è più utilizzato per gli autoveicoli;

- motore a valvole in testa. Il movimento di chiusura delle valvole è orientato nella direzione del PMS. In questo tipo di motore, le valvole sono posizionate con la testa rivolta verso il basso.

Disposizione dell'albero a camme. I motori a valvole in testa sono suddivisi in:

- motore OHV (dall'inglese Overhead Valves). Le valvole sono situate nella testata in posizione sospesa, mentre l'albero a camme è posto nel basamento o nella testata (fig. 2);
- motore OHC (dall'inglese Overhead Camshaft). L'albero a camme è posto nella parte superiore della testata (fig. 3);

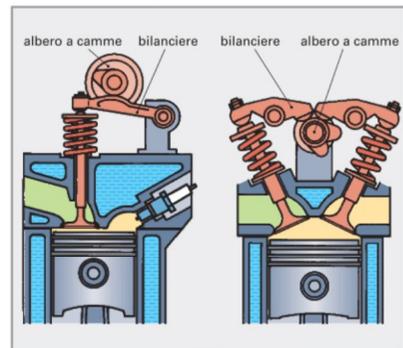


Figura 3: Motore OHC

- motore DOHC (dall'inglese Double Overhead Camshaft). I due alberi a camme sono posti nella parte superiore della testata (fig. 4);

- motore CIH (dall'inglese Camshaft in Head). L'albero a camme è situato nella testata (fig. 5).

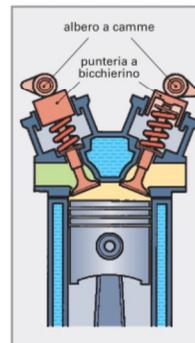


Figura 4: Motore DOHC

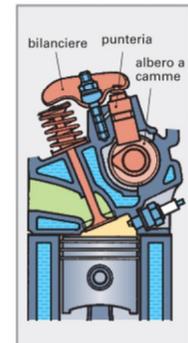


Figura 5: Motore CIH

11.6.2 Tecnica multivalvole

Per migliorare ulteriormente il ricambio dei gas nel cilindro, i motori possono essere dotati anche di due o tre valvole di aspirazione e di una o due valvole di scarico.

Motore a tre valvole (fig. 1). Due valvole di aspirazione sono posizionate di fronte a una valvola di scarico con dimensioni maggiori. Quando non è possibile posizionare in centro la candela, si utilizza una doppia accensione con due candele disposte eccentricamente, comportando una migliore combustione della miscela in prossimità del colletto del pistone e sul colletto rompifiamma. Un unico albero a camme comanda l'apertura delle valvole.

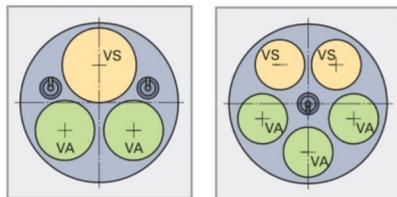


Figura 1: Motore a tre valvole

Figura 2: Motore a cinque valvole

Motori a quattro valvole (fig. 3). sono i più utilizzati nella tecnica multivalvole. Due valvole di aspirazione, di diametro maggiore, sono posizionate di fronte a due valvole di scarico; di conseguenza, la candela di accensione può essere disposta al centro. Sono necessari un albero a camme per le valvole di aspirazione e un altro per le valvole di scarico.

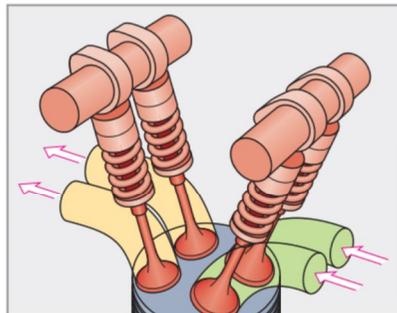


Figura 3: Motore a quattro valvole

Motore a cinque valvole (fig. 2). Tre valvole di aspirazione e due valvole di scarico permettono di ottenere la massima sezione trasversale del flusso. La candela di accensione, in genere, può essere disposta al centro. L'albero a camme di aspirazione aziona le tre valvole di aspirazione e un albero a

camme di scarico aziona le due valvole di scarico.

11.6.3 Organi della distribuzione

Valvole

Si distingue tra **valvole di aspirazione** e **valvole di scarico**. Il diametro della testa della valvola e la corsa devono essere di dimensioni tali da non ostacolare il ricambio dei gas. La valvola di scarico ha spesso un diametro inferiore rispetto a quella di aspirazione, poiché la pressione ancora elevata dei gas nocivi all'apertura della valvola di scarico garantisce un rapido svuotamento della camera di combustione.

Struttura (fig. 4). La valvola è composta dalla testa e dallo stelo. La testa, a contatto con la sede della valvola posta nella testata, deve chiudere ermeticamente la camera di combustione. L'estremità dello stelo presenta una gola oppure una o più scanalature, nelle quali alloggianno i semiconi di tenuta. Questi ultimi sono premuti contro la gola o le scanalature, poste sullo stelo della valvola, dal piattello della molla.

Sollecitazioni. Le valvole sono sottoposte a notevoli sollecitazioni in quanto, in un minuto, vengono aperte e, in seguito, violentemente richiuse contro la loro sede dalla molla di richiamo circa 4000 volte. Inoltre, lo stelo e la sua estremità sono soggetti a usura per sfregamento.

Le valvole di aspirazione (fig. 4). Benché siano continuamente raffreddate dai gas freschi, possono raggiungere temperature fino a circa 500 °C.

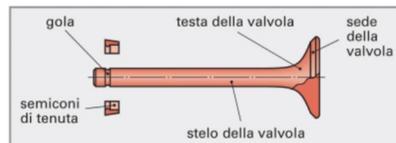


Figura 4: Valvola di aspirazione

Le valvole di aspirazione, in genere, sono valvole monometalliche. Per ridurre l'usura, si possono indurire la sede, lo stelo, la cavità per i semiconi di tenuta e la superficie piana all'estremità dello stelo.

Le valvole di scarico (fig. 1, pag. 250) sono sottoposte a una particolare sollecitazione termica dovuta ai gas della combustione estremamente caldi (fino a circa 900 °C alla testa della valvola) e a corrosione chimica; per questo, sono spesso costruite in bimetallo. Per la testa e la parte inferiore dello stelo, le parti più esposte ai gas della combustione, si utilizza acciaio resistente alle elevate temperature, alla corrosione e alla calamina. Tale acciaio però non può essere indurito, ha pessime proprietà antifrizione, è soggetto a grippaggio (guida della valvola) e ha una cattiva conduttività termica.

Per queste ragioni, la parte terminale dello stelo è costruita in acciaio temprabile con buona conduttività termica. Le due parti della valvola sono unite mediante saldatura per attrito.

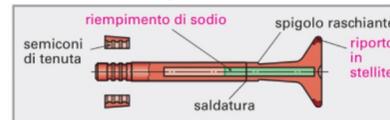


Figura 1: Valvola di scarico

Le valvole a stelo cavo (fig. 1) sono montate in genere come valvole di scarico per migliorare l'evacuazione del calore. La loro cavità è riempita al 60% con del sodio metallico che fonde a circa 97 °C e ha una buona conduttività termica. Il movimento dello stelo e che la temperatura della testa diminuisca di circa 100 °C. Le sedi delle valvole sono generalmente realizzate in stellite e riportate (fig. 1) per ridurre l'usura ed evitare deformazioni.

Gioco delle valvole. Durante il funzionamento, le valvole di aspirazione e di scarico si dilatano più o meno a seconda dell'aumento di temperatura e del materiale con cui sono fatte. In alcuni organi della distribuzione intervengono variazioni di lunghezza dovute all'usura. Affinché le valvole di aspirazione e di scarico possano chiudersi perfettamente in ogni condizione di funzionamento, si prevede un certo gioco fra i vari organi di comando: quello delle valvole a motore freddo è maggiore rispetto a quello a motore caldo e quello delle valvole di scarico è maggiore rispetto a quello delle valvole di aspirazione, essendo sottoposte a temperature più elevate.

Gioco delle valvole troppo piccolo. La valvola si apre in anticipo e si chiude in ritardo. Il tempo di chiusura ridotto non permette alla valvola di scarico di evacuare completamente il calore dalla testa della valvola alla sede. A motore caldo, c'è il rischio che, in seguito al gioco insufficiente, la valvola di scarico o di aspirazione non si chiuda completamente. A causa della non ermeticità della valvola di scarico, una parte dei gas combusti può raggiungere il collettore d'aspirazione, provocando pericolosi ritorni di fiamma, perdite di gas e cali di potenza. Per il costante flusso di gas di scarico roventi, il surriscaldamento delle valvole provoca la bruciatura della testa e della sede.

Gioco delle valvole troppo grande. La valvola si apre in ritardo e si chiude in anticipo. Il tempo e la sezione di apertura delle valvole diminuiscono, peggiorando sia il riempimento del cilindro, sia la potenza del motore. Il rumore e la sollecitazione meccanica degli elementi della distribuzione aumenta.

Regolazione del gioco delle valvole. La regolazione del gioco delle valvole differisce a seconda del tipo di motore e del tipo di comando delle valvole. Il gioco può essere prescritto per motore freddo o caldo e con motore spento o in moto a bassi regimi. Con albero a camme in testa e leve oscillanti o bilancieri, il gioco delle valvole può essere regolato con una vite di regolazione dotata di controdado oppure agendo sul perno di battuta a testa sferica (fig. 2), alloggiato in una sede con filettatura autobloccante. Si controlla il gioco delle valvole inserendo lo spessore fra il diametro primitivo delle camme e il bilanciere. Con albero a camme in testa e punterie, il gioco è regolato mediante pastiglie intercambiabili temprate e di diverso spessore, alloggiato direttamente nella punteria. Il gioco della valvola può essere immediatamente controllato inserendo lo spessore fra il diametro primitivo delle camme e la pastiglia di regolazione.

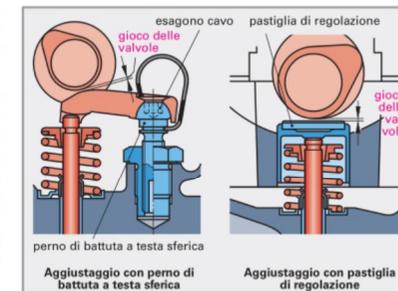


Figura 2: Regolazione del gioco delle valvole

A seconda del costruttore, il gioco delle valvole è compreso tra 0,1 a 0,3 mm. Se non è regolato correttamente, i momenti di apertura e di chiusura delle valvole variano.

Compensazione idraulica del gioco delle valvole

I motori dotati di un sistema di compensazione idraulica non necessitano più di una regolazione del gioco delle valvole. Un dispositivo idraulico compensa le variazioni di lunghezza degli organi della distribuzione, mantenendo, a motore in funzione, costantemente il gioco delle valvole ad un valore zero.

Struttura. Il dispositivo di compensazione del gioco è integrato nella punteria. Tramite le punterie, le valvole sono azionate direttamente dall'albero a camme posto sopra di esse. La punteria idraulica (fig. 1, pag. 251) è collegata al circuito di lubrificazione del motore. L'alimentazione dell'olio avviene tramite un apposito foro situato sulla parete della punteria e da lì, tramite l'incavo sul fondo della punteria, raggiunge la camera di riempimento tramite il pistone di spinta.

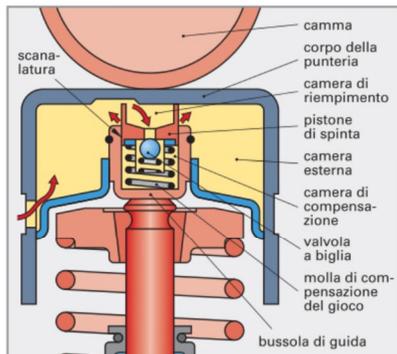


Figura 1: Punteria con compensazione idraulica del gioco delle valvole

Funzionamento

Rampa di chiusura. Il pistone di spinta è scaricato. La molla di compensazione del gioco sposta il pistone di spinta verso l'alto, fino a quando la punteria aderisce al diametro primitivo della camma. In seguito all'aumento di volume della camera al di sotto del pistone, l'olio affluisce dalla camera di riempimento alla camera di compensazione, passando attraverso la valvola sferica.

Rampa di apertura. Il pistone di spinta viene caricato, la valvola sferica si chiude e il riempimento dell'olio nella camera di compensazione funge da "collegamento rigido". Tramite la bussola di guida, si apre la valvola di aspirazione o di scarico. La piccola quantità di olio, che in questa fase trafila fra le superfici del pistone di spinta e la bussola di guida, permette di compensare la dilatazione termica degli organi della distribuzione.

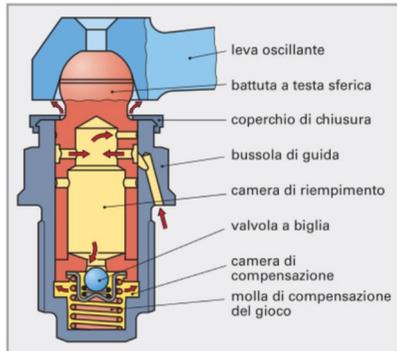


Figura 2: Perno di battuta della leva oscillante con compensazione idraulica del gioco delle valvole

Se, invece, le valvole sono azionate dall'albero a camme tramite un bilanciere, l'elemento di compensazione del gioco è inserito nel perno di battuta del bilanciere (fig. 2). Il funzionamento è identico a quello descritto per le punterie.

Guida delle valvole (fig. 3)

Nelle testate in leghe di Al si utilizzano particolari guide delle valvole con buone proprietà antifrizione. Esse, in genere, sono costruite in bronzo fuso o ghisa speciale. L'anello di tenuta, posto sull'estremità superiore della guida, deve consentire la formazione di un adeguato strato d'olio tra lo stelo della valvola e la rispettiva guida, impedendo nel contempo che l'olio motore giunga, attraverso la guida, nei condotti di aspirazione e di scarico. In caso contrario, si avrebbe un elevato consumo d'olio e la formazione di depositi carboniosi sullo stelo della valvola; inoltre, verrebbe pure ridotta l'azione del catalizzatore.

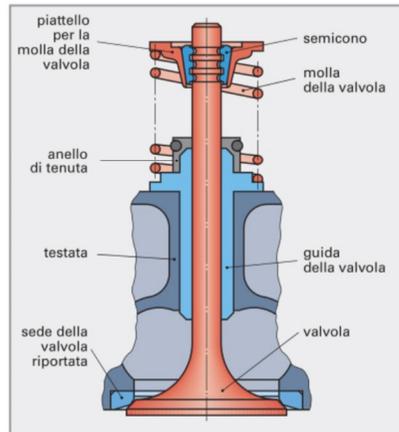


Figura 3: Guida delle valvole

Tabella 1: Possibili inconvenienti nella compensazione idraulica del gioco delle valvole

Il ticchettio dovuto a un eccessivo gioco delle valvole significa che:

- l'elemento di compensazione gira a vuoto in seguito all'eccessiva usura della scanalatura;
- la valvola di ritegno nel circuito dell'olio lubrificante è difettosa;
- l'elemento di compensazione del gioco delle valvole è difettoso;
- la presenza di aria nell'elemento di compensazione del gioco delle valvole, in seguito alla schiuma formatasi, causa un livello eccessivo di olio.

Sede della valvola nella testata

Le sedi e le teste delle valvole (fig. 1) hanno in genere un angolo di 45°.

Angoli di correzione. Per migliorare il flusso dei gas e ottenere una larghezza corretta, le sedi delle valvole sono smussate di 15° e di 75° (angoli di correzione).

Larghezza delle sedi delle valvole. Per garantire una buona ermeticità, l'appoggio della valvola nella sede non deve essere troppo largo. Per la valvola di aspirazione è di circa 1,5 mm, mentre per quella di scarico, al fine di migliorare l'asportazione di calore, è di circa 2 mm. A volte l'angolo della sede della valvola e l'angolo della sede sulla testata sono diversi: 44° per la testa della valvola e 45° per la sede sulla testata. In tal modo si forma uno stretto spigolo di tenuta rivolto verso la camera di combustione, che si allarga progressivamente durante il periodo di rodaggio fino a raggiungere la normale larghezza della sede.

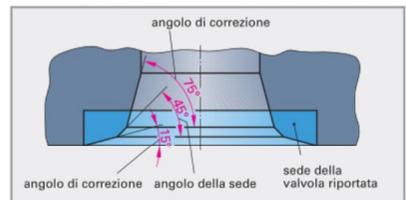


Figura 1: Sede della valvola nella testata

Sedi riportate nella testa. Allo scopo di aumentare la durata, nelle testate in lega di Al e in alcuni casi in ghisa, si utilizzano sedi riportate. Realizzate in acciaio fortemente legato o ghisa speciale, sono particolarmente resistenti al calore, all'usura, alla calamina e all'ossidazione.

Molle delle valvole

Le molle devono garantire la chiusura delle valvole alla fine della fase di aspirazione o di scarico; per questo scopo vengono utilizzate molle elicoidali. Ad elevati regimi di rotazione, i cicli di lavoro al secondo si avvicinerebbero alla frequenza naturale di risonanza della molla, portandola alla rottura. Per evitare questo pericoloso fenomeno, le molle possono essere a cono, a passo variabile o a sezione del filo variabile. Spesso si utilizzano due molle di diametro diverso e coassiali fra loro.

Albero a camme

L'albero a camme comanda al momento opportuno e nell'ordine corretto il movimento di apertura delle valvole e ne consente la chiusura per mezzo delle molle.

Albero a camme stampato (fig. 2). Gli alberi a camme sono generalmente prodotti per fusione in ghisa a grafite lamellare oppure in ghisa sferoidale temprata.

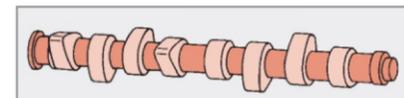


Figura 2: Albero a camme stampato

Albero a camme assemblato (fig. 3). Gli eccentrici delle camme sono prodotti separatamente in acciaio da cementazione, da bonifica o da nitrurazione, dopodiché sono calettati su un tubo d'acciaio.

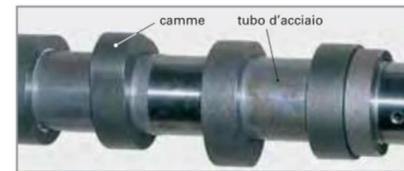


Figura 3: Albero a camme assemblato

Forme delle camme (fig. 4). Il profilo dell'eccentrico della camma determina:

- la durata dell'apertura;
- l'alzata della valvola;
- la velocità di alzata;
- la progressione dell'alzata e della chiusura.

Camma appuntita. La valvola viene aperta e chiusa lentamente, rimanendo completamente aperta solo per un breve periodo.

Camma asimmetrica. La rampa di apertura più piatta rende possibile un'apertura più lenta, mentre la rampa di chiusura più ripida permette una durata di apertura maggiore e una chiusura più rapida.

Camma piatta. La valvola è aperta e chiusa rapidamente, ma rimane aperta più a lungo nel punto di alzata massima.

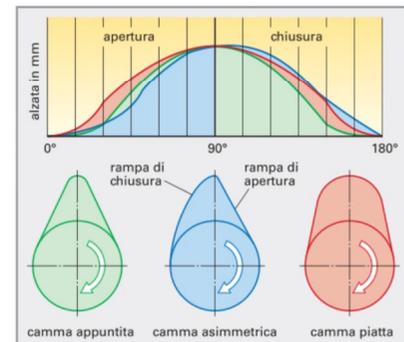
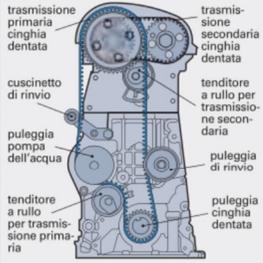
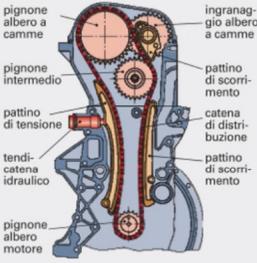
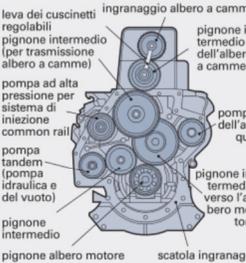


Figura 4: Forme delle camme e delle alzate

Comando della distribuzione

Comando a cinghie dentate	Comando a catena	Comando a ingranaggi
 <p>trasmissione primaria cinghia dentata cinghietto di rinvio puleggia pompa dell'acqua tenditore a rullo per trasmissione primaria trasmissione secondaria cinghia dentata tenditore a rullo per trasmissione secondaria puleggia di rinvio puleggia cinghia dentata</p>	 <p>pignone albero a camme pignone intermedio pattino di tensione tendi-catena idraulico pignone albero motore ingranaggio albero a camme pattino di scorrimento catena di distribuzione pattino di scorrimento</p>	 <p>leva dei cuscinetti regolabili pignone intermedio (per trasmissione albero a camme) pompa ad alta pressione per sistema di iniezione common rail pompa tandem (pompa idraulica e del vuoto) pignone intermedio pignone albero motore ingranaggio albero a camme pignone intermedio dell'albero a camme pompa dell'acqua pignone intermedio verso l'albero motore scatola ingranaggi</p>
<p>Si utilizzano cinghie in materiale sintetico, rinforzate nella parte posteriore con un inserto in fibre sintetiche che trasmette le forze di trazione e limita la dilatazione. Un bordo di guida posto sulla ruota dentata impedisce lo spostamento laterale della cinghia dentata. Le cinghie dentate possono anche essere in bagno d'olio.</p>	<p>È utilizzato quando bisogna trasmettere forze maggiori mantenendo un'elevata precisione nel comando della distribuzione. Un tendicatena provvede a mantenere costante la tensione della catena. Per attenuarne i rumori, la catena è inserita in guide di scorrimento di plastica; inoltre, il pignone dell'albero motore può avere un rivestimento in gomma.</p>	<p>Il movimento rotatorio dell'albero motore è trasmesso all'albero a camme posto all'interno della testata mediante una serie di ruote dentate. Per attenuare il rumore, queste ultime sono provviste di una dentatura elicoidale. Vantaggi: è possibile trasmettere, con estrema precisione, elevate coppie motrici e ridurre l'ingombro in lunghezza grazie alle sottili ruote dentate.</p>

Caratteristiche della cinghia dentata a secco

- Massa ridotta.
- Funzionamento silenzioso.
- Costi di produzione ridotti.
- Pretensionamento ridotto.
- Non necessitano di lubrificazione.
- Devono essere prive di olio.
- Non devono essere piegate.
- In caso di sostituzione occorre osservare le indicazioni del produttore.

Leve oscillanti, leve a bilanciere

Quando le valvole non sono comandate direttamente dall'albero a camme tramite punterie, esse sono azionate dall'albero a camme mediante leve oscillanti o leve a bilanciere.

Le **leve oscillanti** sono leve in cui un'estremità poggia su perno o su una vite a testa sferica. Dall'altra estremità, esse trasmettono il movimento di alzata della camma alla valvola. L'attrito tra camma e leva oscillante può essere notevolmente ridotto utilizzando una leva oscillante a rullo (fig. 1).

Le **leve a bilanciere** sono posizionate sopra l'albero a camme. Il loro punto di appoggio (fulcro) è situato tra la camme e lo stelo della valvola. La corsa di alzata dell'albero a camme è trasmessa allo stelo della valvola grazie al movimento basculante della leva a bilanciere. Come nel sistema precedente, l'attrito fra camme e leva può essere ridotto utilizzando una leva a bilanciere con rullo.

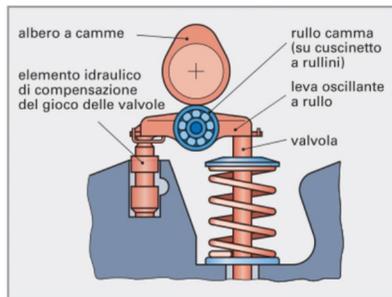


Figura 1: Leva oscillante a rullo

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Che cosa s'intende per motore a valvole in testa?
- 2 Quali sono i compiti dell'albero a camme?
- 3 Per quale motivo il numero di giri dell'albero a camme è la metà di quello dell'albero motore?
- 4 Per quale motivo gli eccentrici dell'albero a camme sono spesso asimmetrici?
- 5 Quali sono i diversi sistemi di comando della distribuzione?
- 6 Quali inconvenienti possono presentarsi se il gioco delle valvole è troppo piccolo?
- 7 Come si ottiene una distribuzione senza gioco e con recupero automatico del gioco?

11.7 Ottimizzazione del riempimento del cilindro

Per migliorare il riempimento dei cilindri (o rendimento volumetrico) si ricorre spesso a sistemi di distribuzione a geometria variabile, a particolari collettori di aspirazione, o a sistemi di sovralimentazione forzata (turbocompressore).

Vantaggi (fig. 1)

- Maggiore potenza.
- Curva della coppia più costante (piatta) in una fascia di funzionamento più ampia.
- Diminuzione delle sostanze inquinanti nei gas di scarico.
- Minor consumo di carburante grazie a una migliore formazione della miscela.

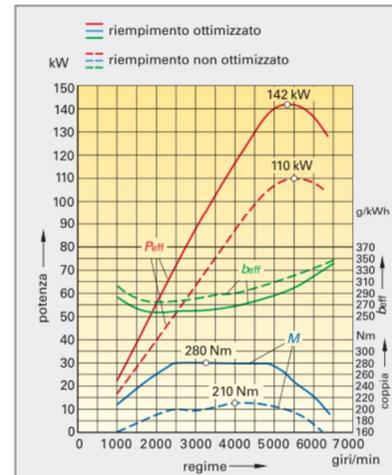


Figura 1: Curve caratteristiche del motore

11.7.1 Distribuzione a geometria variabile

Il riempimento del cilindro di un motore a combustione con distribuzione tradizionale è ottimale solo a un determinato regime di rotazione, in corrispondenza del quale il motore eroga la sua coppia massima. Aumentando ulteriormente il regime, la potenza del motore aumenta fino a raggiungere il valore massimo, ma contemporaneamente, a causa del peggioramento del riempimento del cilindro, diminuisce la coppia. A elevati regimi si migliora il riempimento del cilindro lasciando aperta il più possibile la valvola di aspirazione, con conseguente aumento della coppia e della potenza. A bassi regimi, l'elevato incrocio delle valvole provoca per contro un funzionamento instabile del motore, importanti perdite dovute al lavaggio e un aumento

delle sostanze inquinanti presenti nei gas di scarico. La distribuzione a geometria variabile consente di ridurre questi svantaggi.

Si possono distinguere i seguenti sistemi:

- variatore di fase (variazione dei tempi di apertura delle valvole di aspirazione e di scarico);
- distribuzione variabile (variazione di tempi di apertura, alzata valvole e velocità di apertura delle valvole).

Variatore di fase

Questo sistema permette di modificare la posizione dell'albero a camme di aspirazione e di quello di scarico rispetto alla posizione dell'albero motore. Nella fig. 2 sono rappresentati gli istanti di apertura e di chiusura delle valvole di un motore provvisto di variatore di fase. I variatori di fase modificano gli istanti di apertura e di chiusura delle valvole e l'angolo d'incrocio. Non sono in grado, tuttavia, di modificare l'alzata massima e la durata di apertura.

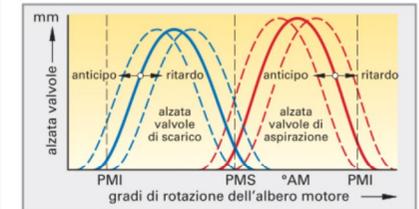


Figura 2: Curve di alzata delle valvole

Fasatura regolata tramite diagrammi caratteristici

La fasatura degli alberi a camme è effettuata in funzione del carico e del regime in base a diagrammi caratteristici memorizzati nella centralina del motore. Come valori di correzione si utilizzano principalmente il carico motore, il regime di rotazione e la temperatura del liquido di raffreddamento (fig. 3, tab. 1, pag. 255).

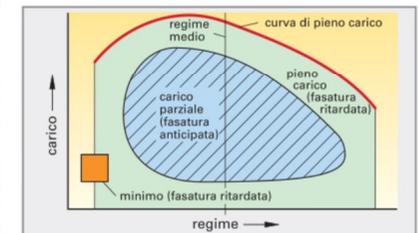


Figura 3: Fasatura anticipata e ritardata dell'albero a camme d'aspirazione in diverse condizioni di carico

Lo sfasamento dell'albero a camme può avvenire in diversi modi, per esempio tramite:

- un tendicatena regolabile (VarioCam);
- un variatore di fase (Vanos, VaneCam).

Regime di funz.	Inizio apert. valv. asp.	Effetto
Motore al minimo	Ritardata	Incrocio valvole ridotto, VA chiude molto dopo il PMI ► nessun passaggio di gas freschi nel canale di scarico e di gas combusti nel canale d'aspirazione, miglior decorso della combustione ► regime del minimo più regolare e può essere ridotto; minori emissioni di HC.
Carico parziale	Anticipata	Incrocio valvole elevato, VA chiude poco dopo il PMI ► i gas freschi non vengono riconvogliati nel canale d'aspirazione, i gas combusti confluiscono nel canale d'aspirazione e vengono aspirati insieme ai gas freschi, la temperatura della fase di combustione diminuisce ► la percentuale di NO _x diminuisce.
Pleno carico	Ritardata	Incrocio valvole ridotto, VA chiude molto dopo il PMI ► i gas freschi continuano a entrare nonostante il movimento ascendente del pistone ► l'effetto di sovralimentazione dinamica migliora il riempimento del cilindro e con esso la coppia.

Tendicatena regolabile (VarioCam, fig. 1). Tramite una trasmissione a catena, l'albero a camme di aspirazione muove l'albero a camme di aspirazione.

Fasatura dell'albero a camme. Grazie a un comando idraulico, i pattini del tendicatena sono spostati verso l'alto o verso il basso (fig. 1). In questo modo, la camme di aspirazione subisce uno sfasamento rispetto a quella di scarico. In condizioni di riposo, il tenditore si trova in battuta verso l'alto e le camme di aspirazione in posizione di "ritardo".

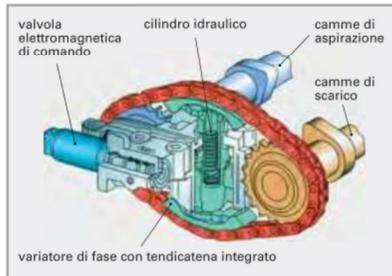


Figura 1: Tendicatena regolabile

Variatore di fase (Vanos, fig. 2).

Il sistema è composto dai seguenti elementi:

- dispositivo di regolazione idraulico;
- dispositivo di regolazione meccanico;
- elettrovalvola per il comando idraulico.

Funzionamento. In questo sistema, l'albero a camme di aspirazione è fatto ruotare rispetto alla posizione del porta pignone. Il pistone idraulico viene spostato verso sinistra o verso destra a seconda della posizione di commutazione dell'elettrovalvola. Grazie alla dentatura elicoidale, il movimento assiale del pistone idraulico provoca, nel dispositivo di regolazione meccanico, lo sfasamento dell'albero a camme in direzione "anticipo" o "ritardo". Lo sfasamento può essere regolato in continuo.

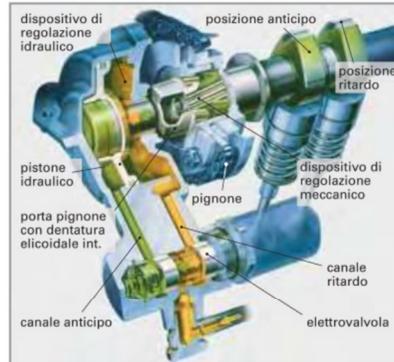


Figura 2: Struttura di un variatore di fase sull'albero a camme

Sfasamento dell'albero a camme di aspirazione in direzione "anticipo" (fig. 3). La pressione dell'olio del motore è convogliata nel canale "anticipo". Il pistone idraulico nel dispositivo di regolazione idraulico subisce uno spostamento assiale verso destra. Il porta pignone, alloggiato nel pistone idraulico in maniera tale da poter ruotare, sposta l'albero a camme di aspirazione in direzione "anticipo" di fronte al pignone.

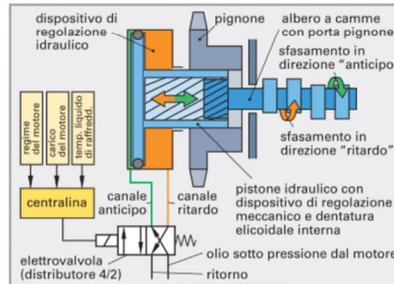


Figura 3: Sfasamento dell'albero a camme.

Sistemi con sfasamento dell'albero a camme di aspirazione e di scarico

Doppio variatore di fase (doppio Vanos). Attraverso l'ulteriore sfasamento dell'albero a camme di scarico si ottiene, oltre a un incremento di coppia ai medi e alti regimi di rotazione del motore, anche un aumento della coppia ai bassi regimi.

Variatore di fase a palette (VaneCam, Variocam)

Struttura (fig. 1). Il variatore di fase a palette è costituito da un rotore esterno, un rotore interno, un gruppo idraulico, due elettrovalvole e due trasduttori di Hall.

Rotore esterno. È azionato dall'albero motore attraverso il pignone e la catena. Nel rotore esterno sono alloggiati le cavità di lubrificazione in cui si innesta il rotore interno.

Rotore interno. È solidale all'albero a camme, che può far ruotare rispetto al rotore esterno.

Gruppo idraulico. In esso sono ricavati i canali di lubrificazione verso i variatori di fase a palette. La pressione dell'olio necessaria a regolare i variatori è generata dal circuito di alimentazione dell'olio motore.

Elettrovalvole MV1, MV2 (fig. 1). In funzione dei segnali trasmessi dalla centralina del motore, regolano la pressione dell'olio nei variatori di fase a palette.

Trasduttori di Hall. Trasmettono il segnale per il posizionamento dell'albero a camme di aspirazione e di scarico.

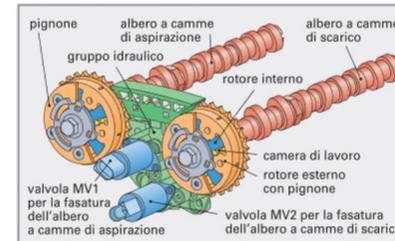


Figura 1: Variatore di fase a palette

Gestione del motore (fig. 2). Per la fasatura dell'albero a camme di aspirazione e di scarico, la centralina del motore necessita di informazioni relative al regime, al carico e alla temperatura del motore, nonché alla posizione dell'albero motore. Questi dati sono poi confrontati con quelli dei diagrammi caratteristici, grazie ai quali la centralina è in grado di regolare le elettrovalvole e sfasare gli alberi a camme.

Funzionamento (fig. 3). Il rotore esterno è solidale al pignone, quello interno all'albero a camme di aspirazione e/o di scarico. Il rotore interno e quello

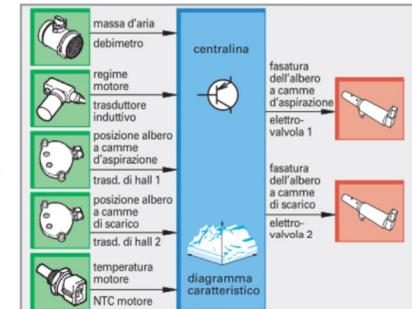


Figura 2: Gestione del motore

esterno possono ruotare in senso opposto l'uno rispetto all'altro. La centralina del motore comanda le elettrovalvole a rapporti ciclici (PWM). Tramite i canali ricavati nel gruppo idraulico e nell'albero a camme, l'olio motore pressurizzato raggiunge le camere del variatore di fase. Per effetto della pressione esercitata sulle palette del rotore interno, l'albero a camme può essere sfasato alternativamente in direzione "anticipo" o "ritardo". Nel momento in cui la posizione dell'albero a camme corrisponde a quella memorizzata nel diagramma caratteristico per la rispettiva condizione di funzionamento, non si ha più alcuna correzione della fasatura. L'angolo di sfasamento massimo del rotore interno rispetto al rotore esterno è di circa 52° albero motore per l'albero a camme di aspirazione e di 22° albero motore per l'albero a camme di scarico.

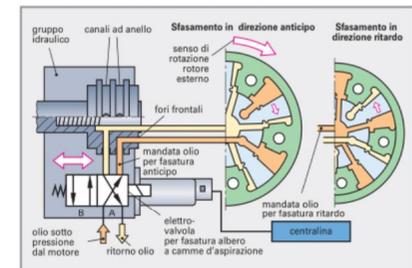


Figura 3: Sfasamento dell'albero a camme di aspirazione

Regolazione in anticipo (fig. 3). L'elettrovalvola si trova in posizione A e consente il passaggio dell'olio sotto pressione nel rispettivo canale.

Regolazione in ritardo. L'elettrovalvola si trova in posizione B e libera il passaggio per l'olio sotto pressione nel rispettivo canale.

Posizione di mantenimento. Il segnale del trasduttore di Hall comunica alla centralina del motore la posizione attuale dell'albero a camme. L'elettroval-

vola è pilotata in modo che nelle due camere si instauri la medesima pressione. Il rotore interno non ruota più. Gli effetti derivanti da una perdita dei segnali trasmessi dai sensori sul funzionamento del motore sono illustrati nella **tab. 1**.

Tabella 1: Effetti derivanti dalla perdita di segnale

Guasto a	Effetti
Debitmetro	Segnale sostitutivo, il motore continua a funzionare
Sensore regime motore	Il motore si spegne
Un trasduttore di Hall	Segnale sostitutivo, il motore continua a funzionare e, in caso di spegnimento, non riparte
Entrambi i trasduttori di Hall	Segnale sostitutivo, il motore continua a funzionare ma, in caso di spegnimento, non riparte
Temperatura liquido raffreddamento	Segnale sostitutivo, il motore continua a funzionare
Elettrovalvole	Nessuno sfasamento albero a camme, il motore continua a funzionare

Distribuzione variabile

Con questo sistema, i tempi di apertura e di chiusura delle valvole, come pure la sezione di passaggio del flusso, sono adattati in funzione delle condizioni di funzionamento del motore.

Il tempo di apertura delle valvole si modifica variando il profilo della camma, mentre la sezione di passaggio del flusso cambia variando l'alzata della camma (fig. 1).

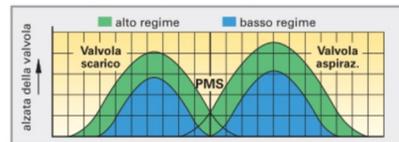


Figura 1: Grafico dell'alzata delle valvole a bassi e alti regimi di rotazione

La commutazione da un profilo all'altro della camma può avvenire bloccando i bilancieri.

Blocco dei bilancieri (VTEC)

Sul lato di aspirazione e su quello di scarico sono presenti tre bilancieri, comandati da una propria camma (fig. 2). Il profilo della camma che aziona i due bilancieri esterni è diverso da quello che attiva il bilanciere interno. Ciò consente di variare i seguenti parametri della distribuzione:

- incrocio valvole;
- tempo di apertura delle valvole;
- velocità di apertura;
- alzata delle valvole;

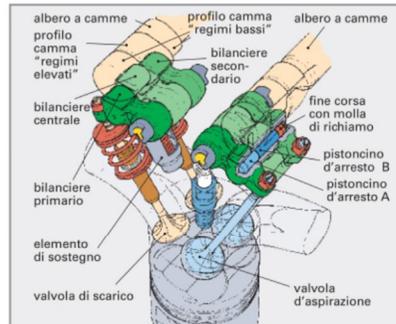


Figura 2: Struttura di una distribuzione variabile

Azionamento delle valvole (fig. 3)

Posizione 1. I tre bilancieri lavorano indipendentemente. La molla di richiamo mantiene in posizione di sblocco i due pistoncini d'arresto A e B. Le valvole sono azionate dai due bilancieri esterni. Ne risulta una piccola alzata delle valvole e un tempo di apertura minore. Questa posizione di funzionamento è ottimale per i bassi regimi.

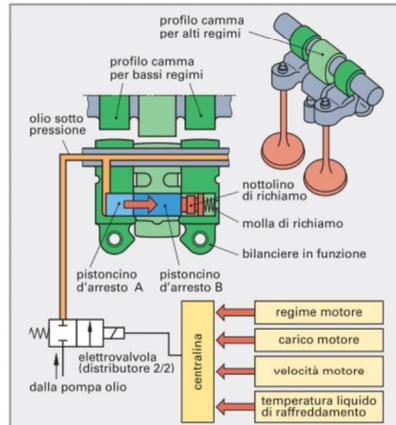


Figura 3: Commutazione da un profilo all'altro della camma

Posizione 2. Raggiunto il punto di commutazione, grazie a un segnale fornito dalla centralina del motore, si apre l'elettrovalvola. La pressione dell'olio motore agisce sul pistoncino d'arresto A. Di conseguenza, entrambi i pistoncini d'arresto A e B si spostano verso destra contro la molla di richiamo, rendendo solidali i tre bilancieri. In questa posizione, le valvole sono azionate dalla camma centrale dotata di una maggiore alzata e di un tempo di apertura delle valvole più lungo.

Distribuzione elettromeccanica completamente variabile (Valvetronic)

L'alzata delle valvole e l'angolo di apertura delle medesime variano in continuazione.

Struttura

La distribuzione elettromeccanica completamente variabile è composta da:

- un variatore di fase variabile (Vanos);
- un sistema di regolazione dell'alzata delle valvole.

Regolazione dell'alzata delle valvole (fig. 1). L'albero a camme d'aspirazione agisce sulla leva intermedia. La parte inferiore obliqua di questa leva aziona il bilanciere, che apre la valvola. Durante la rotazione dell'albero a camme, la leva intermedia oscilla tra la camma e la molla di richiamo.

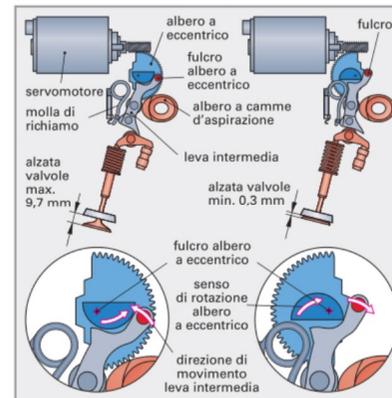


Figura 1: Regolazione elettromeccanica dell'alzata delle valvole completamente variabile

Il servomotore fa ruotare l'albero, modificando la posizione del suo punto di rotazione. La posizione del fulcro dell'albero determina l'entità del movimento oscillatorio e, quindi, anche il grado di escursione delle valvole.

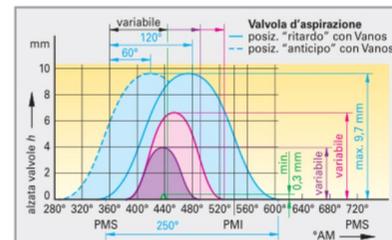


Figura 2: Grafico dell'alzata delle valvole

Movimento oscillatorio ampio => alzata delle valvole ampia (fig. 2).

Movimento oscillatorio ridotto => alzata delle valvole ridotta (fig. 2).

Intervallo di fasatura: da 0,3 a 9,7 mm.

Vantaggi. Poiché il riempimento è regolato tramite la sezione di passaggio del flusso, è possibile rinunciare alla valvola a farfalla, evitando così le perdite di carico fluidodinamiche tipiche dei corpi farfallati.

Distribuzione elettroidraulica completamente variabile

L'alzata, l'angolo di apertura e il numero di alzate delle valvole di aspirazione possono essere modificati in continuo (MultiAir).

Struttura. La distribuzione elettroidraulica completamente variabile è composta da:

- albero a camme di scarico con camma supplementare e bilanciere a rulli;
- pompa;
- elettrovalvola;
- camera di riempimento e accumulatore;
- sensore di temperatura;
- freno idraulico;
- compensazione idraulica del gioco delle valvole.



Figura 3: Schema funzionale di una distribuzione elettroidraulica completamente variabile

Albero a camme di scarico con camma supplementare e bilanciere a rulli (fig. 3). La camma supplementare, posizionata sull'albero a camme di scarico, aziona una pompa tramite il bilanciere a rulli.

Pompa (fig. 3). Genera la pressione dell'olio all'interno della camera ad alta pressione.

Elettrovalvola (fig. 1, pag. 259). La valvola 2/2, comandata da un'unità di controllo, apre e chiude la

camera ad alta pressione. In condizione di riposo, è aperta e la camma supplementare ruota sul diametro primitivo, riempiendo con olio motore la camera a media e alta pressione.

Camera di riempimento e accumulatore. È responsabile dell'alimentazione dell'olio nel circuito dell'olio motore. La pressione all'interno dell'accumulatore è pari a circa 150 bar.

Sensore di temperatura. È una resistenza NTC. Questo sensore comunica la temperatura all'unità di controllo. La temperatura dell'olio motore è un indice della sua viscosità e influisce in misura determinante sui movimenti delle valvole (in fase di avviamento a freddo o a motore caldo).

Freno idraulico. Frena idraulicamente le valvole d'aspirazione al termine della fase di chiusura.

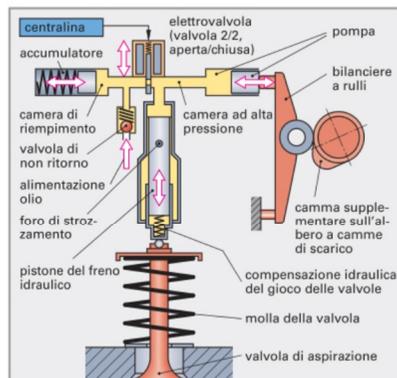


Figura 1: Elementi di una distribuzione elettroidraulica completamente variabile

Funzionamento (fig. 1)

La camma supplementare, posizionata sull'albero a camme di scarico, aziona una pompa tramite un bilanciere a rulli. La pompa genera una elevata pressione dell'olio all'interno della camera ad alta pressione.

Apertura delle valvole. A elettrovalvola chiusa, la pressione dell'olio agisce sulle valvole d'aspirazione attraverso il pistone del freno idraulico. Le valvole si aprono.

Chiusura delle valvole. Avviene tramite l'apertura dell'elettrovalvola che, a seconda della necessità, fa defluire la pressione dalla camera ad alta pressione a una camera di riempimento e a un accumulatore. Ciò consente di azionare le valvole d'aspirazione indipendentemente dal profilo della camma supplementare (fig. 2). Attraverso il foro di strozzamento del pistone, il freno idraulico previene un'eccessiva velocità di assestamento delle valvole, evitando fastidiosi rumori e danni alle valvole d'aspirazione. L'alzata delle valvole, la durata del-

la loro apertura e il numero di alzate delle valvole d'aspirazione sono stabiliti in funzione del regime di carico e dei giri del motore.

Possibilità di comando delle valvole d'aspirazione Si distinguono le seguenti possibilità (fig. 2):

- **apertura completa delle valvole** (Full Lift), raggiungimento della potenza max (in autostrada);
- **apertura ritardata delle valvole** (Late Valve Opening, LVO), ottimizzazione della fase di avviamento;
- **chiusura anticipata delle valvole** (Early Valve Closing, EVC), ottimizzazione del riempimento lungo l'intero spettro di carico parziale;
- **alzata multipla** (Multi Lift), ottimizzazione della combustione nello spettro di carico inferiore (in coda).

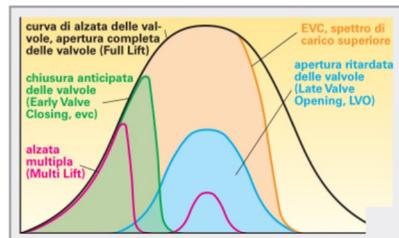


Figura 2: Possibilità di comando delle valvole d'aspirazione

Apertura completa delle valvole (Full Lift, fig. 2). A elettrovalvola chiusa, l'alta pressione generata dalla pompa agisce sui pistoni di azionamento delle valvole d'aspirazione. La corsa di apertura equivale all'alzata delle valvole, dal momento che l'olio idraulico si comporta come un corpo solido.

Apertura ritardata delle valvole (Late Valve Opening, fig. 2). L'elettrovalvola chiude il collegamento alla camera di riempimento soltanto nel momento in cui la camma supplementare ha già messo in moto l'alzata, con conseguente generazione tardiva della pressione all'interno della camera ad alta pressione. Le valvole d'aspirazione si aprono in ritardo e si chiudono in anticipo.

Chiusura anticipata delle valvole (Early Valve Closing, fig. 2). In funzione delle condizioni di carico, una volta generata la pressione all'interno della camera ad alta pressione, l'elettrovalvola apre il collegamento alla camera di riempimento. Così facendo, viene meno la pressione di azionamento delle valvole d'aspirazione, che si chiudono per effetto delle molle. In questo modo, è possibile adattare in continuo la durata di apertura delle valvole alle rispettive condizioni di carico. Nello spettro di carico inferiore, le valvole d'aspirazione si chiudono in anticipo, essendo necessaria meno miscela aria-carburante. Nel range di carico superiore, in cui è richiesta una maggiore quantità di miscela aria-carburante, le valvole d'aspirazione rimangono aperte più a lungo.

Alzata multipla (fig. 2). L'elettrovalvola apre e chiude le valvole d'aspirazione a prescindere dall'alzata e dal profilo della camma supplementare.

Distribuzione a comando idraulico (Variocam Plus)

L'angolo di apertura e l'alzata delle valvole sono a comando idraulico.

Struttura

Il Variocam Plus è un sistema di fasatura variabile a comando idraulico che prevede la commutazione dell'alzata delle valvole per mezzo di punterie idrauliche (fig. 1).

Variocam. Consente di variare l'angolo di apertura delle valvole fino a un massimo di 30° albero motore (fig. 3).

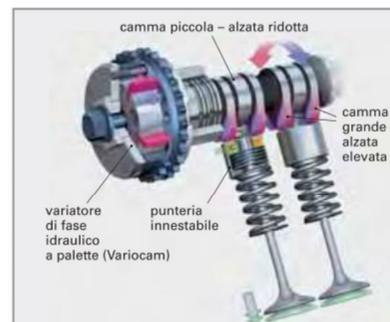


Figura 1: Distribuzione idraulica variabile con punterie innestabili

Commutazione dell'alzata delle valvole. Avviene attraverso punterie a comando idraulico. Un'unità di controllo comanda, mediante opportuni diagrammi caratteristici, un'elettrovalvola, che fornisce alle punterie la pressione dell'olio necessaria.

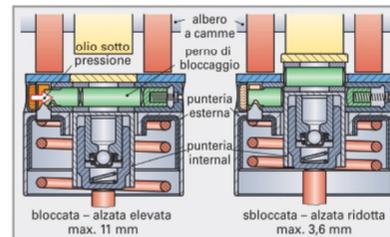


Figura 2: Punteria bloccata e sbloccata

Punterie bloccate (figg. 2 e 3). Le punterie interna ed esterna sono vincolate mediante appositi perni di bloccaggio.

Punterie sbloccate (figg. 2 e 3). Se la pressione dell'olio scende al di sotto di un determinato valore, il perno di bloccaggio è riportato nella posizione iniziale grazie alla molla di richiamo.

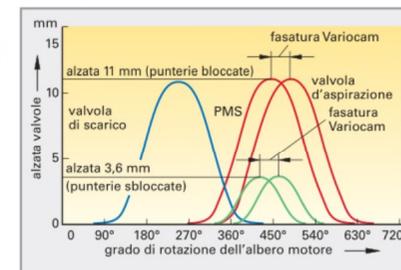


Figura 3: Curve di incrocio valvole con Variocam Plus

Distribuzione a comando meccanico (Valvelift)

Il variatore di fase è a comando idraulico mentre la gestione delle alzate è gestita meccanicamente.

Struttura

La distribuzione è composta da un sistema ad azionamento idraulico per la regolazione della fasatura e da un sistema elettromeccanico per la commutazione delle alzate delle valvole (fig. 4).

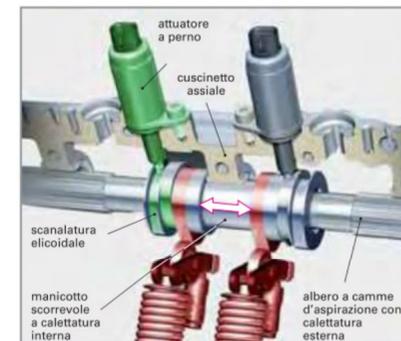


Figura 4: Commutazione elettromeccanica delle alzate delle valvole

Commutazione dell'alzata delle valvole. Avviene tramite un attuatore con perno, comandato dall'unità di controllo. Una volta azionato elettromagneticamente, il perno fuoriesce e si innesta in una scanalatura elicoidale di scorrimento situata sul manico scorrevole. Il manico scorre assialmente sull'albero a camme di aspirazione.

Il ritorno del manicotto scorrevole nella posizione iniziale avviene tramite un secondo attuatore e rispettiva scanalatura di scorrimento posizionata sulla parte opposta dello stesso.

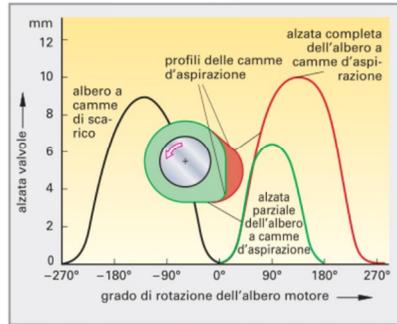


Figura 1: Curva di alzata valvole dell'albero a camme di aspirazione e di scarico

Albero a camme di aspirazione – alzata parziale (fig. 1). È attiva in fase di avviamento e/o spegnimento, con motore al minimo o a carico parziale, con regime di rotazione inferiore a 3100 giri/min. L'alzata della valvola corrisponde a 6,35 mm.

Albero a camme di aspirazione – alzata completa (fig. 1). È attiva a partire da 3100 giri/min o da una determinata soglia di coppia (regolata tramite diagrammi caratteristici). L'alzata della valvola è pari a 10 mm.

11.72 La sovralimentazione

La potenza e la coppia di un motore dipendono essenzialmente dalla massa di aria introdotta nel cilindro durante l'aspirazione. Tale quantitativo è indicato come rendimento volumetrico o grado di riempimento.

Il rendimento volumetrico indica il rapporto fra il quantitativo di aria effettivamente introdotta nel cilindro e il riempimento teoricamente possibile di un cilindro durante un ciclo di lavoro.

Il rendimento volumetrico può essere aumentato mediante l'utilizzo di sistemi di sovralimentazione. Essi convogliano una maggiore quantità d'aria nel cilindro, permettendo di conseguenza la combustione di una maggiore quantità di carburante.

Limiti della sovralimentazione

Motori a ciclo Otto. Nei motori a ciclo Otto sovralimentati, un rendimento volumetrico troppo elevato produce una combustione con battito, con

Tabella 1: Rendimenti volumetrici di motori aspirati e motori sovralimentati

Tipo di motore	Rendimento volum.
Motori aspirati a quattro tempi	0,7 - 0,9
Motori aspirati a due tempi	0,5 - 0,7
Motori sovralimentati	1,2 - 1,6

conseguenti possibili danni a pistoni e cuscinetti. Per tale motivo, i motori a ciclo Otto sovralimentati hanno rapporti di compressione geometrici inferiori rispetto ai motori a ciclo Otto aspirati.

Motori Diesel. Le eccessive pressioni finali di compressione, dovute alla grande quantità di gas introdotta e al conseguente quantitativo di carburante iniettato, possono causare danni meccanici tali da distruggere il motore.

Nei motori a combustione si deve distinguere il rapporto di compressione geometrico dal rapporto di compressione effettivo. Entrambi non devono superare determinati valori limite, onde evitare di danneggiare il motore. Nei motori sovralimentati appositi dispositivi limitano la pressione di sovralimentazione.

Rapporto di compressione geometrico ϵ_{geo} . È il rapporto tra il volume maggiore ($V_h + V_C$) e il volume minore (V_C).

$$\epsilon_{geo} = \frac{V_h + V_C}{V_C}$$

Rapporto di combustione effettivo ϵ_{eff} . Si calcola in base al rapporto di compressione geometrico e al rendimento volumetrico.

$$\epsilon_{eff} \approx \epsilon_{geo} \cdot \text{rendimento volumetrico}$$

Sistemi di sovralimentazione

Si distinguono in sovralimentazione dinamica e sovralimentazione forzata.

11.72.1 Sovralimentazione dinamica

I gas freschi che circolano nel collettore di aspirazione possiedono una certa quantità di energia cinetica. L'apertura della valvola di aspirazione provoca un'onda di compressione riflessa. I gas freschi tornano indietro alla velocità del suono e incontrano l'aria ferma all'estremità aperta del collettore di aspirazione. Qui l'onda di compressione viene nuovamente riflessa e ritorna verso la valvola di aspirazione. Se l'onda di pressione raggiunge la valvola di aspirazione quando quest'ultima è abbastanza aperta, si avrà un miglior riempimento del cilindro. Si ottiene, quindi, un effetto di sovralimentazione dinamica. La frequenza dell'oscillazione che in tal

modo si produce dipende dalla lunghezza del collettore di aspirazione, dalla sua sezione e dal regime del motore.

A seconda della forma del condotto di aspirazione e del tipo di sovralimentazione, si distingue la sovralimentazione con collettori di aspirazione "oscillanti" e quella a risonanza. I due sistemi possono essere anche combinati.

Sovralimentazione con collettori di aspirazione "oscillanti". Ogni cilindro possiede un collettore di aspirazione di pari lunghezza. L'oscillazione dei gas è prodotta dall'alternarsi delle fasi di aspirazione. Scegliendo la lunghezza del collettore di aspirazione appropriata, si può influenzare l'oscillazione in modo tale da far passare l'onda di compressione attraverso la valvola di aspirazione aperta e aumentare, di conseguenza, il riempimento. Nell'intervallo di regime inferiore è più vantaggioso utilizzare collettori di aspirazione lunghi e stretti, mentre nell'intervallo di regime superiore sono più interessanti collettori corti e larghi (fig. 1).

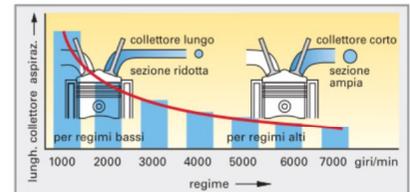


Figura 1: Correlazione tra numero di giri e lunghezza dei collettori di aspirazione oscillanti

Sistemi di collettori di aspirazione oscillanti

Si distinguono due sistemi di collettori di aspirazione: a commutazione e a regolazione continua.

Collettori di aspirazione a commutazione (fig. 2). Si tratta di una combinazione di collettori di aspirazione lunghi e corti. Nell'intervallo di regime inferiore, l'aria scorre attraverso i collettori lunghi. Le vie di aspirazione corte sono chiuse mediante valvole a sportello o cassette rotanti. Ai regimi più elevati le clappe si aprono elettricamente o elettropneumaticamente.



Figura 2: Sistema di collettori di aspirazione oscillanti di un motore a V

amente; in questo modo tutti i cilindri aspirano attraverso collettori corti. La fig. 3 illustra come, in un motore con collettore di aspirazione a commutazione, nell'intervallo di regime fino a 4100 giri/min si ha una coppia maggiore e più uniforme, associata a un aumento di potenza.

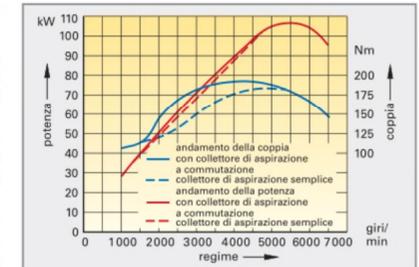


Figura 3: Coppia e potenza del motore in relazione alla lunghezza del collettore di aspirazione

Collettore di aspirazione a regolazione continua

(fig. 4). Un rotore ad anello, che varia l'apertura di un convogliatore d'aria, ruota in funzione del numero di giri del motore e, quindi, adatta la lunghezza utile del collettore di aspirazione al numero di giri. La rotazione avviene tramite un motore passo-passo.



Figura 4: Impianto di aspirazione a regolazione continua

Sovralimentazione a risonanza. Con la frequenza di apertura delle valvole, si influenza la frequenza della colonna oscillante di gas (tab. 1).

Tabella 1: Frequenza di apertura delle valvole e frequenza della colonna oscillante di gas

N. giri	Frequenza apert. valvole	Frequenza colonna gas
Alto	Alta	Alta
Basso	Bassa	Bassa

Quando la frequenza di apertura delle valvole di aspirazione coincide con quella delle oscillazioni dei gas, si produce una risonanza.

Risonanza. È l'oscillazione naturale accentuata di un sistema potenzialmente oscillante e dipende dalle dimensioni della massa oscillante: grandi masse producono oscillazioni lunghe a bassa frequenza, masse piccole oscillazioni corte ad alta frequenza. Se alla colonna oscillante di gas all'interno di un collettore di aspirazione si aggiunge un'ulteriore massa attraverso l'apertura di una valvola di risonanza (fig. 1), la relativa massa oscillante aumenta e la frequenza diminuisce. Ciò determina, ai bassi regimi, una sovralimentazione e, quindi, un migliore riempimento per effetto dell'oscillazione di risonanza.

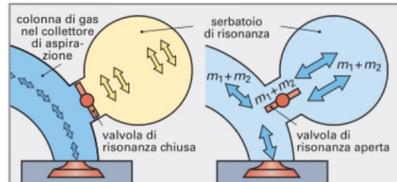


Figura 1: Sovralimentazione a risonanza

Sistema combinato di collettori di aspirazione oscillanti e risonanti (fig. 2). Per sfruttare la sovralimentazione dei singoli sistemi, si combinano sistemi di sovralimentazione a risonanza e sistemi oscillanti, ottenendo così un miglior riempimento nell'intervallo di regime medio-basso tramite la sovralimentazione a risonanza e nell'intervallo superiore tramite la sovralimentazione a collettori oscillanti (fig. 3). Il sistema apre o chiude una valvola elettricamente o elettropneumaticamente a seconda del numero di giri.

Esempio. Sovralimentazione a risonanza nell'intervallo di regime medio-basso, valvola di commutazione chiusa.

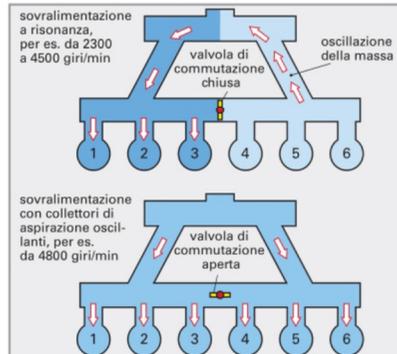


Figura 2: Sistema combinato di collettori di aspirazione oscillanti e risonanti

Se l'aspirazione avviene nel 2° cilindro, il gruppo cilindri 4, 5 e 6 funge da ulteriore serbatoio di risonanza. Di conseguenza, si riduce la frequenza della massa oscillante e la si adegua alla frequenza di apertura delle valvole.

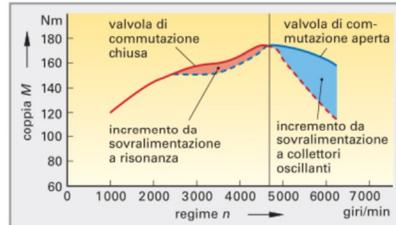


Figura 3: Coppia in caso di sovralimentazione combinata a collettori oscillanti e risonanti

11.72.2 Sovralimentazione forzata

Durante la fase di aspirazione, un compressore invia nel cilindro la maggior quantità possibile di aria "fresca". La miscela aria-carburante o l'aria è precompressa parzialmente o completamente all'esterno del cilindro. Si hanno così:

- compressori senza azionamento meccanico (turbocompressore a gas di scarico, fig. 4, Bi-Turbo, Twin-Turbo);
- compressori ad azionamento meccanico (compressore Roots, compressore a spirale, compressore a palette);
- combinazioni di turbocompressore a gas di scarico e compressore a vite.

Compressore senza azionamento meccanico

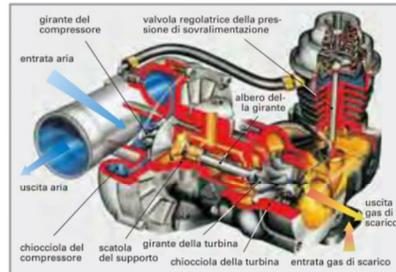


Figura 4: Struttura di un turbocompressore a gas di scarico

Turbocompressore a gas di scarico

L'energia dei gas di scarico è utilizzata per inviare l'aria fresca nei cilindri (fig. 4, fig. 1, pag. 264).

Soltanto a partire da regimi medi e alti si ottiene un significativo effetto di sovralimentazione. Questi compressori reagiscono, inoltre, con un leggero ritardo ai rapidi cambiamenti della posizione dell'ac-

celeratore. A causa della loro inerzia, infatti, i gas di scarico non possono seguire i rapidi cambiamenti di carico (ritardo del turbo). I compressori lavorano pressoché senza perdite, dato che non necessitano di nessun trascinarsi da parte del motore.

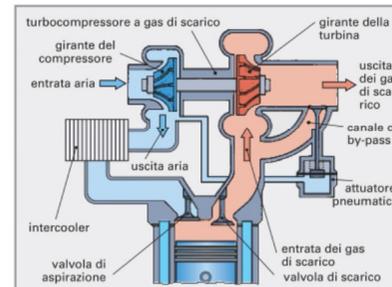


Figura 1: Schema di un motore con compressore a gas di scarico

Rotore (fig. 2). È composto dalla girante della turbina, da un albero e dalla girante del compressore. A seconda del modello di compressore, il rotore raggiunge un numero di giri compreso fra i 50.000 e i 400.000 giri/min.

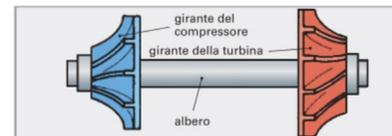


Figura 2: Rotore di un turbocompressore a gas di scarico

Funzionamento. I gas di scarico del motore mettono in moto la girante della turbina, la quale aziona a sua volta, tramite l'albero, la girante del compressore. Il compressore aspira l'aria fresca e la fornisce precompressa al motore. A seguito della precompressione, l'aria di alimentazione si riscalda, raggiungendo temperature dell'ordine di 180 °C.

Raffreddamento dell'aria di alimentazione e pressioni di alimentazione. Prima del suo ingresso nei cilindri, l'aria precompressa che si è riscaldata può essere raffreddata da un sistema di raffreddamento che ne aumenta la densità. Grazie alla maggior massa d'aria, è possibile iniettare più carburante, aumentando in tal modo la potenza del motore. Nella tab. 1 sono indicate le pressioni di alimen-

Tabella 1: Pressioni di alimentazione in funzione del raffreddamento dell'aria di alimentazione

Motori sovralimentati	Sovrapressioni in bar
Senza raffreddamento	0,2 - 1,8
Con raffreddamento	0,5 - 2,2

tazione con e senza raffreddamento dell'aria aspirata. Per evitare rotture meccaniche al motore con turbocompressore a gas di scarico, le pressioni di sovralimentazione non devono superare i valori stabiliti dal costruttore.

Regolazione della pressione di sovralimentazione.

Le dimensioni del turbocompressore sono determinate in modo da ottenere un effetto di sovralimentazione anche a regimi medi e flussi di gas di scarico ridotti. Quindi, con regimi elevati e grandi quantità di gas di scarico, la pressione di sovralimentazione del turbocompressore potrebbe superare determinati valori limite e, di conseguenza, il compressore raggiungerebbe regimi di rotazione troppo elevati. Si distinguono le seguenti regolazioni: pneumo-meccanica, elettronica e con palette statoriche orientabili (geometria variabile).

Regolazione pneumatica della pressione di sovralimentazione (fig. 1).

Una membrana collegata alla valvola regolatrice della pressione di sovralimentazione (fig. 3) è pre-caricata mediante una molla elicoidale e alimentata con la pressione di sovralimentazione. Non appena la pressione di sovralimentazione supera la forza della molla, la valvola si apre. I gas di scarico by-passano la turbina e vanno verso il tubo di scarico. La valvola regolatrice della pressione di sovralimentazione può essere sostituita anche da

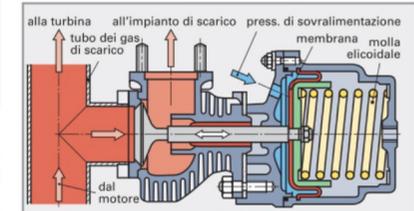


Figura 3: Valvola regolatrice della pressione di alimentazione

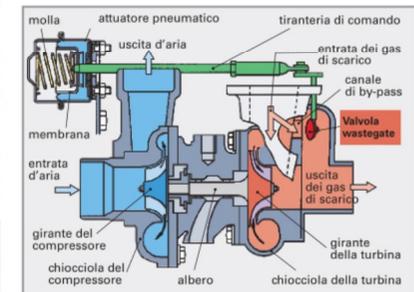


Figura 4: Regolazione della pressione di sovralimentazione con valvola wastegate

una valvola wastegate (fig. 4) che apre e chiude un canale di by-pass.

La valvola di by-pass è collegata con una tiranteria ad un polmone di comando fissato, in genere, al compressore. Grazie alla maggiore distanza del polmone di comando dalle parti calde del compressore, si diminuisce la sollecitazione termica a cui è esposta la membrana di plastica e, di conseguenza, si riduce il pericolo di rotture. Nella fase di rilascio, con valvola a farfalla chiusa, nel compressore si crea un'elevata contropressione che frena la girante creando così dei ritardi quando subentrano cambiamenti di carico. Per rendere possibile il funzionamento indisturbato della girante del compressore nella fase di rilascio, i dispositivi di regolazione della pressione di alimentazione sono dotati di una valvola di ricircolo d'aria (valvola di sfogo, by-pass, fig. 1) che permette di convogliare l'aria precompressa dal lato di pressione al lato di aspirazione del compressore.

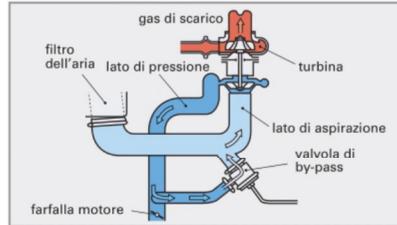


Figura 1: Valvola di ricircolo d'aria

Regolazione elettronica della pressione di sovralimentazione (fig. 2). Un dispositivo di regolazione della pressione di sovralimentazione elabora il valore ottimale della pressione in funzione della posizione della valvola a farfalla e della tendenza al battito in testa. La temperatura dell'aria aspirata e del motore e il regime di rotazione fungono da grandezze di correzione. Le variazioni della pressione atmosferica, come quando si guida in montagna, non hanno nessuna influenza, perché il dispositivo di comando del motore è dotato di un trasduttore di quota che misura la pressione atmosferica, tenendone conto nel calcolo della pressione di sovralimentazione.

Funzionamento. Un sensore della pressione rileva la pressione di sovralimentazione e il dispositivo di regolazione aziona un'elettrovalvola proporzionale (a rapporti ciclici, fig. 2), che regola la pressione di comando sull'attuatore pneumatico.

Pressione di sovralimentazione troppo bassa (fig. 2). La valvola proporzionale apre il collegamento fra il tubo di mandata e il lato di aspirazione. Sull'attuatore pneumatico agisce una bassa pressione e, di conseguenza, la valvola wastegate rimane chiusa. La turbina è azionata dall'intero flusso dei gas di scarico.

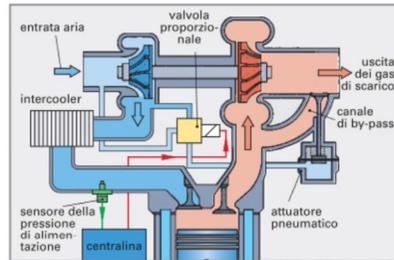


Figura 2: Regolazione elettronica della pressione di sovralimentazione - pressione bassa

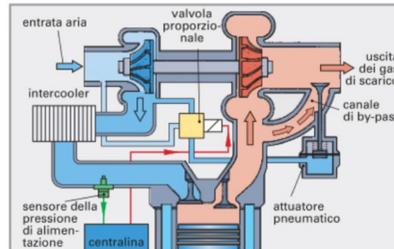


Figura 3: Regolazione elettronica della pressione di sovralimentazione - pressione troppo alta

Pressione di sovralimentazione troppo elevata (fig. 3). Il sensore della pressione di alimentazione segnala al dispositivo di regolazione una pressione di alimentazione troppo elevata. La valvola proporzionale chiude il collegamento fra il tubo di mandata e il lato di aspirazione. La pressione di alimentazione nel tubo di comando aumenta e agisce sulla membrana dell'attuatore pneumatico, la quale aprirà la valvola wastegate. Si riduce in questo modo il flusso dei gas di scarico alla turbina.

"Overboost" (Incremento di potenza). Si tratta di un aumento (temporizzato) della pressione di sovralimentazione necessario all'accelerazione. Quando si preme velocemente, e a fondo, il pedale dell'acceleratore (kick-down), la valvola proporzionale esclude il comando dell'attuatore pneumatico. L'intero flusso dei gas di scarico passa attraverso la turbina e la pressione di sovralimentazione aumenta repentinamente. Dopo aver raggiunto la velocità desiderata, rilasciando il pedale, si ritorna al normale procedimento di regolazione. La regolazione elettronica della pressione di sovralimentazione rispetto alla regolazione pneumatica presenta alcuni vantaggi: una migliore risposta, un rendimento costante, in quanto indipendente dalla pressione atmosferica (regolazione di pressione assoluta), e una pressione di alimentazione variabile che può essere aumentata fino alla soglia di battito.

Regolazione della pressione di sovralimentazione con turbina a geometria variabile (TGV)

La pressione di sovralimentazione è regolata mediante palette statoriche orientabili (fig. 1). La regolazione è indipendente dalla corrente dei gas di scarico determinata dal regime del motore.

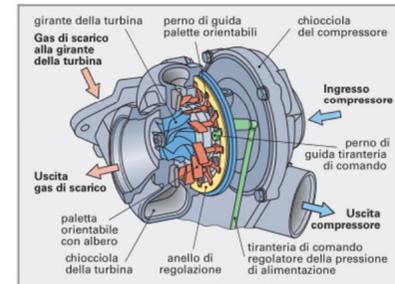


Figura 1: Regolazione della pressione di alimentazione con TGV

Funzionamento

Regime del motore basso (fig. 2). Per avere a disposizione una coppia elevata anche a bassi regimi, è necessaria un'elevata pressione di alimentazione. Le palette orientabili sono direzionate in modo da ottenere una stretta sezione di entrata. Il restringimento provoca un aumento della velocità dei gas di scarico, i quali possono agire sul settore esterno delle pale della turbina (braccio grande della leva). Aumenta di conseguenza il numero di giri della turbina e, quindi, la pressione di sovralimentazione.

Regime del motore elevato. Le palette orientabili liberano una sezione di entrata maggiore, per poter accogliere la grande quantità di gas di scarico che si presenta agli alti regimi. In tal modo si raggiunge, ma non si supera, la necessaria pressione di alimentazione. Il flusso dei gas di scarico agisce sul settore centrale delle pale della turbina.

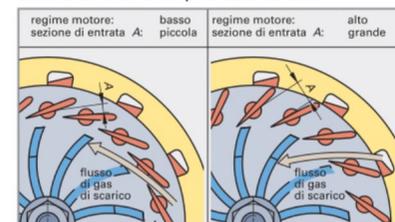


Figura 2: Posizione delle palette statoriche orientabili

La variazione della sezione di entrata è sfruttata ad alti regimi per ottenere un breve incremento della pressione di alimentazione. Normalmente non ci sono canali di by-pass, dato che per ogni condizione di funzionamento è possibile ottenere la pres-

sione di sovralimentazione ottimale mediante la sola regolazione delle palette. Quando il dispositivo di comando segnala che il motore è in fase di emergenza, le palette liberano la maggior sezione possibile. Pressione di sovralimentazione e potenza diminuiranno.

Regolazione delle palette statoriche orientabili (fig. 1) Avviene tramite una tiranteria di comando, i cui perni di guida ingranano nell'anello di regolazione. L'anello di regolazione è fatto ruotare e il movimento rotatorio è trasmesso, tramite i perni di guida e l'albero, alle palette orientabili. Tutte le palette ancorate all'anello portante sono girate contemporaneamente e uniformemente nella posizione desiderata. La regolazione delle palette è di tipo elettro-pneumatico o elettrico.

Regolazione elettro-pneumatica (fig. 3)

Una pompa per vuoto genera una depressione. Tramite un trasduttore elettro-pneumatico, la pressione di comando viene convogliata nel polmone a depressione. La differenza tra pressione di comando e pressione atmosferica agente all'interno del polmone a depressione regola le palette in modo variabile attraverso un'apposita tiranteria.

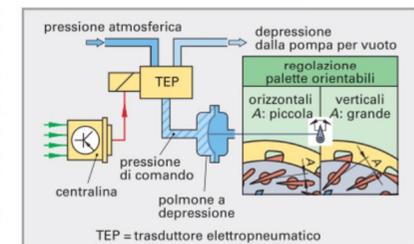


Figura 3: Comando elettro-pneumatico

Regolazione elettrica delle palette orientabili

Un motore elettrico a ingranaggi aziona la tiranteria per regolare le palette, ottenendo una velocità e una precisione maggiori rispetto all'azionamento pneumatico, con vantaggi sia in termini di risposta sia in termini di emissioni nocive. Dai modelli Euro 4 si utilizzano gli attuatori elettrici.

Doppia sovralimentazione (fig. 1, pag. 267)

La sovralimentazione è generata da due turbocompressori a gas di scarico di pari dimensioni, azionati in parallelo (Bi-Turbo). Ai bassi regimi lavora soltanto un turbocompressore, mentre il secondo si attiva, a seconda della necessità di potenza e della pressione di sovralimentazione, tra 2600 e 3200 giri/min. Agli alti regimi lavorano entrambi i turbocompressori. Il secondo turbocompressore è attivato e disattivato per mezzo di valvole pneumatiche (valvole di chiusura e valvola di ricircolo). La depressione necessaria viene generata da una pompa per vuoto.

Funzionamento

Regimi fino a 2600 giri/min. Le valvole di chiusura 1 e 2 sono chiuse. La valvola di ricircolo è aperta. Il turbocompressore 1 convoglia aria fresca nel canale d'aspirazione.

Regimi tra 2600 e 2750 giri/min. La valvola di chiusura 1 e la valvola di ricircolo sono aperte. Il turbocompressore 2 è in funzione e convoglia aria fresca nel canale d'aspirazione a monte del turbocompressore 1.

Regimi da 2750 giri/min. Le valvole di chiusura 1 e 2 sono aperte e la valvola di ricircolo è chiusa. Entrambi i turbocompressori lavorano.

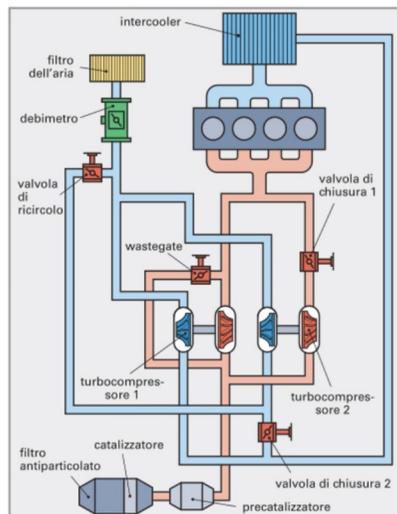


Figura 1: Doppia sovralimentazione

Wastegate. A una pressione di sovralimentazione, per esempio di 1,6 bar, la wastegate si apre e protegge i compressori da un'eventuale sovrappressione e da un numero di giri eccessivo.

Riduzione della potenza. In caso di riduzione della potenza, per esempio in fase di rilascio, la valvola di ricircolo si apre, la valvola di chiusura 2 si chiude e il turbocompressore 2 non lavora.

Caratteristiche

- L'attivazione del secondo turbocompressore è gestita dalla centralina del motore.
- Risposta migliore grazie alle masse ridotte; l'inerzia delle masse di due piccoli turbocompressori, che a seconda delle condizioni di carico lavorano singolarmente o in tandem, è inferiore a quella di un unico grande turbocompressore.

Sovralimentazione a doppio stadio (Twin-Turbo)

Due turbocompressori, uno grande e uno piccolo, lavorano in parallelo. I flussi di aria e dei gas di scarico sono gestiti da apposite valvole di comando, con conseguente miglioramento della risposta del motore al variare dei carichi e dei numeri di giri. Rispetto ai turbocompressori tradizionali, ai bassi regimi, la pressione di sovralimentazione si genera molto più rapidamente dal momento che, in virtù della massa inferiore, un compressore piccolo con palette compatte raggiunge velocità elevate molto più rapidamente. Il compressore grande garantisce una portata d'aria maggiore agli alti regimi.

Vantaggi

- Risposta rapida alle variazioni di regime e carico.
- Rapida generazione della pressione di sovralimentazione.
- Portata d'aria elevata agli alti regimi.

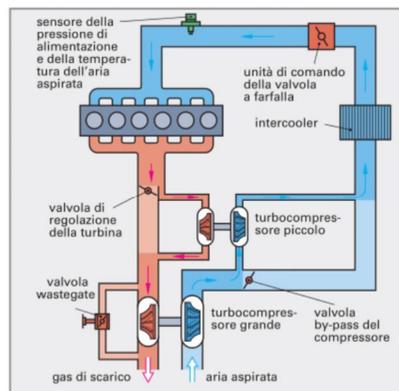


Figura 2: Sovralimentazione a doppio stadio

Funzionamento

Regimi tra 800 e 1500 giri/min

Lato di scarico. La valvola di regolazione della turbina e la valvola wastegate sono chiuse. Il flusso di gas di scarico mette in moto il turbocompressore piccolo. Non basta tuttavia ad attivare il turbocompressore grande.

Lato aspirazione. La valvola by-pass del compressore è chiusa. L'aria aspirata attraversa il turbocompressore grande ed è compressa nel turbocompressore piccolo.

Regimi tra 1500 e 2500 giri/min

Lato scarico. La valvola di regolazione della turbina è leggermente aperta, la valvola wastegate è chiusa. Il flusso più intenso di gas di scarico mette in moto il turbocompressore grande e quello piccolo.

Lato aspirazione. La valvola by-pass del compressore è chiusa. L'aria aspirata è precompressa nel

turbocompressore grande e fortemente compressa in quello piccolo.

Regimi tra 2500 e 4000 giri/min

Lato scarico. La valvola di regolazione della turbina è aperta, la valvola wastegate è chiusa. Tutti i gas di scarico fluiscono attraverso il turbocompressore grande.

Lato aspirazione. La valvola by-pass del compressore è aperta. L'aria aspirata è compressa esclusivamente nel turbocompressore grande.

Regimi > 4000 giri/min

Lato scarico. La valvola di regolazione della turbina è aperta. Il flusso di gas di scarico mette in moto il turbocompressore grande. Se la pressione di sovralimentazione diventa eccessiva, la valvola wastegate si apre e sottrae al turbocompressore grande parte dei gas di scarico.

Lato aspirazione. La valvola by-pass del compressore è aperta. L'aria aspirata viene compressa esclusivamente nel turbocompressore grande.

Compressori ad azionamento meccanico

Compressore a vite (compressore Roots). È costituito da due rotori a quattro pale, ritorte di 160° (fig. 1). I rotori sono azionati in modo permanente dal motore tramite una cinghia trapezoidale. Il compressore meccanico rimane in funzione lungo tutto l'intervallo di regimi. La regolazione del carico avviene tramite la valvola a farfalla principale e la valvola by-pass a comando elettrico.



Figura 1: Compressore Roots

Funzionamento

Fase di aspirazione/fase di carico parziale (fig. 2).

In questa fase la valvola by-pass è completamente aperta. Tramite la posizione della valvola a farfalla principale, che il conducente aziona con il pedale dell'acceleratore, si gestiscono le condizioni di carico. Parte dell'aria trasportata dal compressore ritorna, per effetto del by-pass aperto, al compressore, dove viene nuovamente aspirata. In questi intervalli di carico non si ha una sovralimentazione ad opera del compressore, dal momento che il motore aspira la quantità d'aria necessaria. Durante la fase di carico parziale, in tutto il collettore di aspi-

razione vi è un regime di depressione.

Fase di carico/pieno carico (fig. 3). In questa fase la valvola by-pass è aperta quasi completamente. La regolazione del carico avviene ad opera della valvola by-pass ad azionamento elettrico. La sua posizione è determinata da un diagramma caratteristico memorizzato nella centralina.

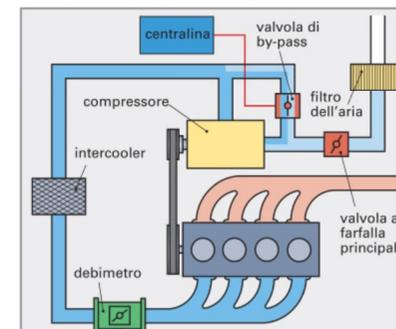


Figura 2: Valvola by-pass aperta - fase di aspirazione

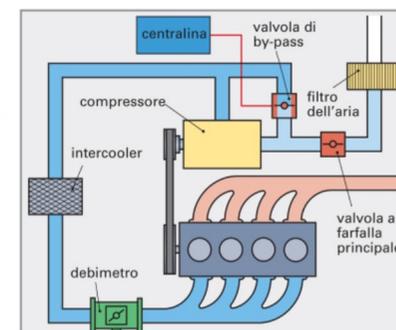


Figura 3: Valvola by-pass chiusa - fase di carico

Se il conducente accelera e apre completamente la valvola a farfalla principale, la valvola by-pass si chiude (fig. 3). Di conseguenza, si ha subito a disposizione l'intera pressione di sovralimentazione. Il veicolo accelera senza particolari ritardi.

Vantaggi e svantaggi rispetto al turbocompressore a gas di scarico. Grazie alla rapidità con cui è generata la pressione di sovralimentazione, si ha una coppia elevata e una buona risposta già ai bassi regimi. In fase di sovralimentazione, non si ha alcuna perturbazione dei gas di scarico del motore. Tuttavia, parte della potenza guadagnata (circa 1-5%) deve essere impiegata per l'azionamento del compressore. Ecco perché questi motori consumano di più rispetto ai motori con turbocompressore.

Combinazione di turbocompressore a gas di scarico e compressore (fig. 1)

Un compressore e un turbocompressore a gas di scarico, collegati in serie, generano sovralimentazione. A seconda delle condizioni di carico e del regime di rotazione, la centralina del motore calcola la quantità d'aria e la pressione di sovralimentazione necessarie per la coppia richiesta e decide se la pressione di sovralimentazione debba essere generata unicamente dal turbocompressore a gas di scarico o in combinazione col compressore, attivato tramite una frizione magnetica.

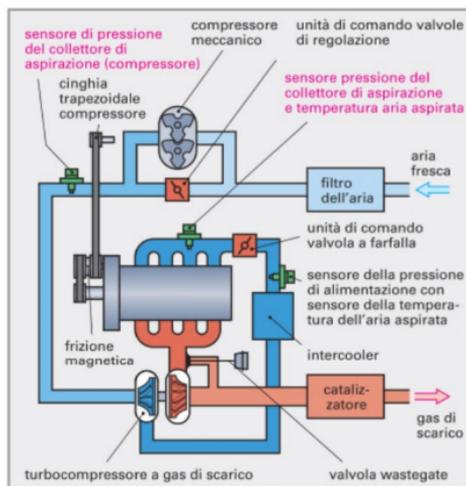


Figura 1: Combinazione di compressore e turbocompressore a gas di scarico

Funzionamento permanente del compressore a regimi compresi tra 500 e 2400 giri/min. In caso di motore al minimo e di carico parziale, il motore lavora in aspirazione, con valvola di regolazione completamente aperta. Il compressore è azionato in modo permanente dalla cinghia trapezoidale. A seconda del carico, la pressione di sovralimentazione del compressore può essere convogliata attraverso la chiusura della valvola di regolazione.

Funzionamento dinamico del compressore a regimi compresi tra 2400 e 3500 giri/min. In questo inter-

vallo il compressore viene attivato, se necessario, attraverso la frizione magnetica. Qualora occorra una forte accelerazione (sorpasso), il compressore è azionato per raggiungere il più rapidamente possibile la pressione di sovralimentazione necessaria. Se a questo regime il turbocompressore dovesse generare da solo la pressione di sovralimentazione, a causa della sua inerzia (ritardo del turbo), si avrebbe un'accelerazione ritardata.

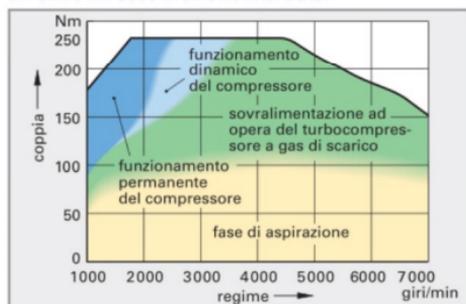


Figura 2: Andamento della coppia in caso di sovralimentazione

Sovralimentazione esclusivamente ad opera del turbocompressore a partire da regimi di 3500 giri/min. In questo caso la valvola di regolazione è completamente aperta. Il turbocompressore lavora da solo, essendo concepito per lavorare in modo ottimale ad alti regimi di rotazione. L'energia dei gas di scarico è sufficiente a generare la pressione di sovralimentazione necessaria a tutte le condizioni di carico. La pressione di sovralimentazione è limitata dalla valvola wastegate a 1 bar di sovrappressione.

Caratteristiche

- Nessun ritardo di risposta ai bassi regimi.
- Coppia elevata a partire da regimi molto bassi.
- Nessun ritardo del turbo in fase di accelerazione, dato che è in funzione il compressore.
- Il turbocompressore a gas di scarico è concepito appositamente per lavorare agli alti regimi.

Downsizing. È un concetto che racchiude tutte le misure apportate ai motori per ridurre il consumo di carburante e, contemporaneamente, mantenere o aumentare la potenza dei motori. Si interviene sul motore incrementandone la potenza specifica migliorando il rendimento.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i vantaggi dei motori sovralimentati rispetto ai motori aspirati?
- 2 Quali sistemi di sovralimentazione esistono?
- 3 Come funziona la sovralimentazione dinamica?
- 4 Come avviene la sovralimentazione nei sistemi con collettori di aspirazione oscillanti?
- 5 Quali tipi di compressore esistono?
- 6 Quali sono i componenti principali di un turbocompressore a gas di scarico e come funziona?

- 7 Perché si utilizzano gli intercooler?
- 8 Che tipi di regolazione della pressione di sovralimentazione sono utilizzati?
- 9 Che cosa s'intende per "Overboost"?
- 10 Spiegate la doppia sovralimentazione.
- 11 Spiegate la sovralimentazione a doppio stadio.
- 12 Come funziona un compressore Roots?
- 13 Spiegate la combinazione di compressore e turbocompressore a gas di scarico.