

14 Motore a ciclo Otto a due tempi

14.1 Motore a due tempi

Nel motore a due tempi (2T), un ciclo completo di lavoro si svolge durante un giro dell'albero motore (360°).

14.1.1 Struttura

Il motore a ciclo Otto a due tempi (fig. 1) è composto da:

- **gruppo termico:** testata motore, cilindro, carter motore;
- **manovellismo:** pistone, biella, albero motore;
- **impianto di preparazione della miscela:** carburatore, impianto di iniezione, collettore di aspirazione;
- **sistemi ausiliari:** impianto di accensione, di raffreddamento e di scarico, pompa di dosaggio del lubrificante (in caso di sistema a lubrificazione separata).

In genere, il ricambio dei gas è controllato dal pistone mediante le luci nelle pareti del cilindro. Vengono a mancare, quindi, tutti i componenti per il controllo dei flussi gassosi utilizzati nel motore a quattro tempi.

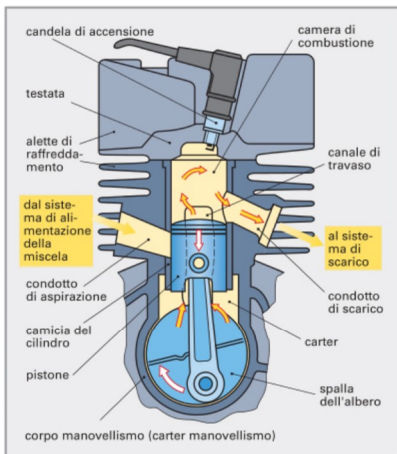


Figura 1: Struttura di un motore a ciclo Otto a due tempi

14.1.2 Funzionamento

Il ciclo di lavoro di un motore 2T si compone, come per il motore 4T, di una fase di aspirazione, una di compressione, una di espansione e una di scarico. Lo svolgimento delle singole fasi (tab. 1) si differen-

zia, però, per posizione e tempi di durata. Nel motore a due tempi, per completare il ciclo di lavoro in due corse del pistone, ossia un giro dell'albero motore, il cilindro deve interagire con il carter motore. Insieme alla parte inferiore del cilindro e alla parte inferiore del pistone, il carter funge da pompa. Per tale motivo deve essere a tenuta stagna.

Tabella 1: Processi nel motore a due tempi

Processi nel cilindro (sopra il pistone)	Travaso (lavaggio) Compressione Espansione Scarico	← ↑
Processi nel carter (sotto il pistone)	Depressione nel carter Aspirazione Compressione nel carter Travaso (lavaggio)	↑ ↓

Motore a due tempi a tre canali (fig. 1). Per il ricambio dei gas dispone di tre differenti tipi di condotti (o canali): un condotto di immissione (aspirazione) e uno di scarico, oltre a due canali di travaso (lavaggio) contrapposti.

Condotto di aspirazione: collega il carburatore con il carter pompa.

Condotto di scarico: collega la camera di combustione con il sistema di scarico.

Condotto di travaso: collega il carter con la camera di combustione.

Il motore a due tempi ha un ricambio dei gas di tipo aperto.

Questo significa che il canale di scarico e quello di travaso rimangono aperti contemporaneamente per gran parte del ricambio dei gas. Per questo motivo, nel motore a due tempi è inevitabile che si verifichi un mescolamento della miscela fresca con i gas combusti e che si abbiano perdite di gas freschi allo scarico.

Modo di funzionamento (motore a due tempi a tre canali)

Prima corsa, angolo di manovella 0°...180°

Il pistone si sposta dal PMI al PMS
(fig. 1, pag. 359)

Processi nel carter

Depressione nel carter. Dopo che il pistone ha chiuso il canale di travaso, nel carter si crea una depressione di 0,2-0,4 bar dovuta all'aumento di volume. Questo processo viene definito preaspirazione.

Fase di aspirazione. Quando il pistone, con la parte inferiore del mantello, libera la luce di aspirazione, inizia la vera e propria fase di aspirazione della miscela aria-carburante nel carter.

Processi nella camera di combustione

Fase di compressione. Dopo che il pistone ha chiuso con la parte superiore del mantello la luce di scarico, nel cilindro inizia la fase di compressione della miscela aria-carburante. Pochi istanti prima del PMS avviene l'accensione.

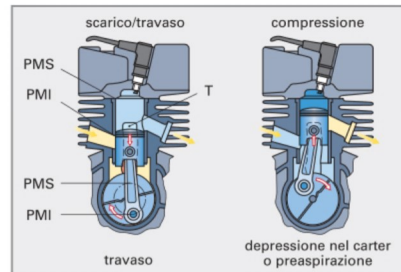


Figura 1: 1° tempo

Seconda corsa, angolo di manovella 180°... 360°
Il pistone si sposta dal PMS al PMI (fig. 2)

Processi nella camera di combustione

Fase attiva (espansione). In questa fase, la pressione dei gas sposta il pistone dal PMS al PMI.

Processi nel carter motore

Dopo che il pistone ha richiuso, con la parte inferiore del mantello, la luce di aspirazione, inizia la compressione preliminare (precompressione) della miscela aria-carburante a circa 0,3-0,8 bar di sovrappressione.

Processo di ricambio dei gas (processi nella parte inferiore e in quella superiore del pistone). Nel passaggio alla seguente fase di lavoro avviene il ricambio dei gas (lavaggio).

Fase di scarico. La parte superiore del mantello del pistone apre la luce di scarico posizionata leggermente più in alto rispetto a quella di travaso, liberando in tal modo i gas di scarico. Di seguito apre la luce di travaso e la miscela aria-carburante precompressa va a lavare il cilindro e a scaricare i gas combusti residui. Durante l'apertura della luce di travaso, sotto la spinta dell'iniziale pressione dinamica esistente nel condotto di scarico, i gas residui ritornano nel carter. La pressione di precompressione aumenta così da 0,3 a circa 0,8 bar, favorendo in seguito l'operazione di lavaggio e il travaso della miscela fresca. Quando il pistone, nel suo percorso verso il PMS, chiude la luce di travaso e poi la luce di scarico, termina il processo di lavaggio.

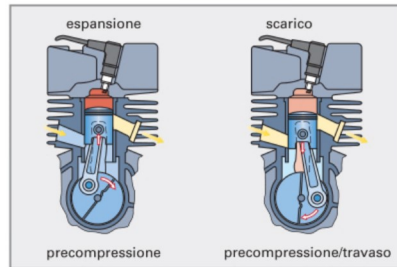


Figura 2: 2° tempo

Tabella 1: Pressione dei gas (in bar)			
Aspirazione	Compressione	Espansione	Scarico
-0,4 ... -0,6	8 ... 12	25 ... 40	3 ... 0,1
Pre-aspirazione	Pre-compressione		Travaso
-0,2 ... -0,4	0,3 ... 0,8		1,3 ... 1,6

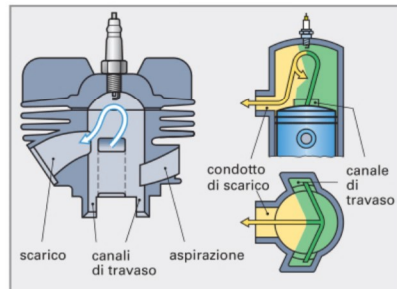


Figura 3: Lavaggio in controcorrente

Processo di lavaggio in controcorrente. Nel comune lavaggio in controcorrente (denominato "lavaggio a tre flussi") nel cilindro sono ricavati dei canali di travaso a destra e a sinistra rispetto al condotto di scarico (fig. 3). Una finestra nel pistone serve da terza luce di travaso. I flussi di lavaggio sono indirizzati dai canali di travaso, inclinati rispetto all'asse del cilindro, verso la parete antistante la luce di scarico. In questo punto, i flussi si riuniscono e spingono i gas di scarico rimanenti lungo la parete del cilindro fino alla luce di scarico. In questo modo i flussi di lavaggio si invertono nel cilindro, creando una corrente di ritorno.

Nel lavaggio in controcorrente di ritorno a 4 canali (fig. 1, pag. 360), invece, i due flussi principali si incontrano dal lato opposto alla luce di scarico e sono deviati verso l'alto. Dopo la deviazione, i flussi, favoriti dalla conformazione della testata, spingono la maggior parte dei gas di scarico verso il condotto di

scarico. I due flussi ausiliari di lavaggio sono guidati in modo tale da spingere e scaricare il residuo di gas, formatosi nella zona morta del cilindro, verso il condotto di scarico. L'andamento a forma di spirale (simile a un cappio) del flusso principale e la conduzione dei flussi ausiliari di lavaggio riducono le perdite e migliorano il grado di riempimento.

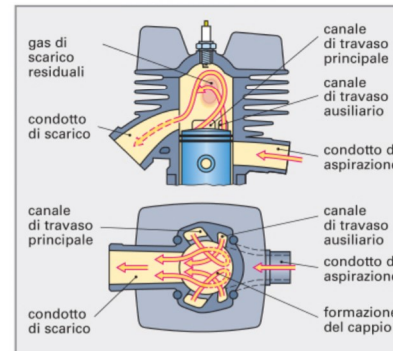


Figura 1: Lavaggio in controcorrente a più canali (lavaggio a cappio)

Fenomeni oscillatori durante il ricambio dei gas
I motori a due tempi con diagramma della distribuzione simmetrico funzionano con un ampio incrocio dei tempi di apertura, ossia dei processi di ricambio dei gas.

A causa degli impulsi prodotti da questi processi, nelle colonne dei gas si creano delle oscillazioni. Al fine di contenere le perdite di gas freschi, queste oscillazioni devono essere sincronizzate fra loro.

Processo di aspirazione

La colonna d'aria fresca oscilla tra l'impianto di scarico, il condotto di aspirazione e il carter.

Per una corretta sincronizzazione, il pistone deve chiudere il condotto di aspirazione quando la colonna d'aria fresca è in fase di oscillazione di ritorno dal carter motore. La colonna non può più ritornare indietro e la pressione di compressione aumenta.

Processo di scarico e di lavaggio

Le colonne di gas oscillano tra l'impianto di scarico, il cilindro e il carter. Il gas di scarico, che fuoriesce grazie alla sovrappressione, origina un'onda di pressione che è riflessa da un deflettore nel pre-silenziatore.

In questo modo, è impedito il riflusso di gas fresco nel condotto di scarico. A causa di questi fenomeni oscillatori, il sistema di scarico, insieme con il silenziatore e il condotto di aspirazione con il filtro dell'aria, devono essere accordati in modo ottimale fra loro, in modo da contenere le perdite di riempimento. Modifiche inappropriate conducono a perdite di potenza e a un aumento del consumo specifico.

Diagramma di distribuzione simmetrico (fig. 2)

Nel motore a due tempi con ricambio di gas comandato dal pistone, i canali di aspirazione, scarico e travaso sono aperti con un valore di anticipo rispetto al PMS uguale al valore del ritardo rispetto allo stesso riferimento. Nel caso in cui il pistone nella sua corsa verso il PMS apra 55° prima del PMS, nella sua corsa discendente chiuderà 55° dopo il PMS. Ne deriva in questo modo un diagramma della distribuzione simmetrico.

La fig. 2 illustra, nella fascia circolare esterna, i processi nella camera di scoppio e, nella fascia circolare interna, i processi nel carter della pompa.

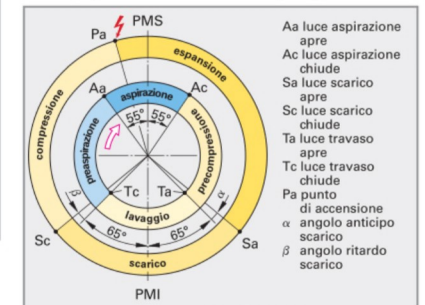


Figura 2: Diagramma della distribuzione simmetrico

Anticipo di scarico favorevole. Il pistone, nella sua corsa discendente verso il PMI, apre inizialmente la luce di scarico e, in seguito, quella di travaso. All'apertura della luce di scarico, si verifica una forte caduta di pressione, in modo che i gas residui non ritornino con forza nel carter per mescolarsi con i gas freschi precompressi.

Ritardo di scarico sfavorevole. Il pistone, nella sua corsa ascendente verso il PMS, chiude inizialmente la luce di travaso e, in seguito, quella di scarico. In questo modo, i gas freschi possono venire sospinti fuori dal condotto di scarico.

Perdita di riempimento. Il motore a due tempi può disporre per il lavaggio della camera di combustione solo di circa 130°AM, corrispondente a circa un terzo del tempo del ricambio dei gas del motore a quattro tempi. A causa di questi svantaggi, si utilizzano comandi di aspirazione e/o di scarico dai quali risultano diagrammi della distribuzione asimmetrici.

Diagramma della distribuzione asimmetrico

Utilizzando diagrammi della distribuzione asimmetrici (fig. 1, pag. 361), i tempi di apertura e chiusura delle luci dei singoli canali possono essere di differente grandezza, quindi non sono più simmetrici al PMS e al PMI.

Non si possono ottenere diagrammi della distribuzione asimmetrici per i comandi di aspirazione e di

scarico mediante il comando delle luci a seconda del pistone.

Ricarica utile. Nei motori a due tempi con diagrammi della distribuzione asimmetrici, la luce del canale di travaso può essere chiusa dopo quella di scarico, migliorando il riempimento grazie all'inerzia del flusso della colonna dei gas freschi. Questa ricarica "utile" può essere realizzata solo mediante un importante sforzo di progettazione, per esempio mediante comandi di aspirazione con valvola a cassetto e un comando sullo scarico mediante valvole con attuatori ad eccentrico.

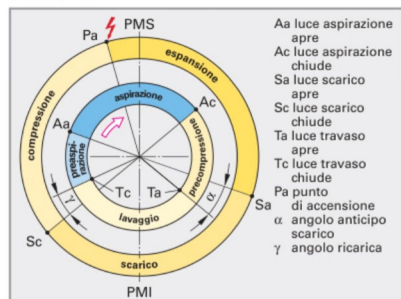


Figura 1: Diagramma della distribuzione asimmetrica

Lo spostamento degli angoli di apertura e/o di chiusura verso "anticipo" o "ritardo" può avvenire, per la fase di aspirazione, mediante comando a valvola lamellare o rotante.

14.1.3 Sistemi di comando

Dispositivo di comando dell'aspirazione

Valvola lamellare (fig. 2). L'alimentazione dei gas freschi è comandata tramite una valvola a lamelle posta nel canale di aspirazione.

Quando il pistone si muove verso il PMS (preaspirazione), nel carter si crea una depressione. A causa della pressione differenziale esistente tra la pressione nel carter e la pressione atmosferica, la valvola si apre. Durante l'aspirazione, i gas freschi possono entrare nel carter fino a quando la pressione nello stesso, prodotta dalla discesa del pistone, fa chiudere la valvola lamellare e il canale di aspirazione. La valvola lamellare impedisce in tal modo il riflusso dei gas verso il sistema di formazione della miscela, ottenendo così un migliore riempimento del cilindro.

Struttura della valvola lamellare (fig. 2). Le lamelle molto sottili della valvola possono essere prodotte in acciaio per molle altamente elastiche, in fibra di vetro o in fibra di carbonio; si aprono alla minima pressione differenziale. La battuta delle lamelle (stopper) limita il movimento e ne impedisce un'eccessiva oscillazione.

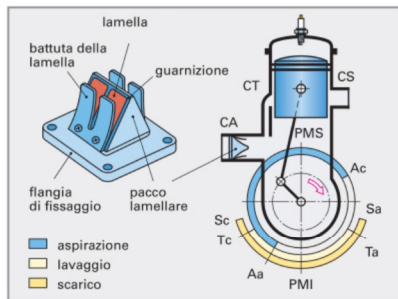


Figura 2: Comando a valvola lamellare

Comando a valvola o disco rotante (fig. 3). Il comando del canale di aspirazione avviene tramite valvola rotante. Al contrario di quello che succede nel comando a valvola lamellare, non si possono modificare gli angoli di comando. Lo sbocco della luce di aspirazione nel carter è aperto e chiuso da un disco rotante. La valvola rotante è solidale all'albero motore. Mediante la particolare forma del suo profilo e la sua posizione rispetto all'albero motore, la valvola determina l'angolo di aspirazione e, quindi, il tempo di aspirazione. Se appositamente lavorate, anche le spalle dell'albero motore possono essere utilizzate come valvola.

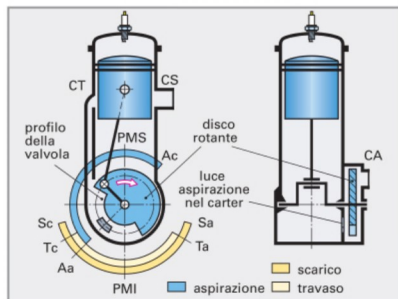


Figura 3: Comando a valvola rotante

Caratteristiche del sistema di comando dell'aspirazione

- Diagramma di distribuzione asimmetrico.
- Gli angoli di comando per "apertura luce aspirazione" e "chiusura luce scarico" sono differenti, mentre rimangono uguali rispetto al PMI gli angoli per il travaso e lo scarico.
- Per il comando a valvola lamellare, l'angolo di aspirazione è variabile a seconda della depressione nel carter.
- Per il comando a valvola rotante, l'angolo di aspirazione è costante (fisso).

14

- Miglior riempimento del carter con conseguente aumento della coppia motrice e un'elevata potenza specifica.

Dispositivo di comando sullo scarico

I comandi sullo scarico sono utilizzati per ridurre il fenomeno di by-pass dei gas freschi allo scarico. Contemporaneamente, si ottiene anche un miglior coefficiente di riempimento. Quando la contropressione allo scarico è troppo bassa, una quantità troppo elevata di gas freschi passa direttamente dal cilindro allo scarico. Invece, quando la contropressione è troppo elevata, una quantità troppo ridotta di gas freschi riesce a raggiungere il cilindro. L'impianto di scarico può essere realizzato in maniera tale che ad alti regimi si crei un'elevata contropressione allo scarico, che però non viene raggiunta a regimi più bassi. In un intervallo molto ristretto di regime (regime di risonanza o di accordo), le oscillazioni dei gas possono essere sintonizzate in maniera tale da ridurre le perdite da lavaggio e aumentare il grado di riempimento. È possibile allargare questo intervallo di regime con la desintonizzazione della risonanza, modificando la forma e la lunghezza del tubo di scarico.

Dispositivo di comando dello scarico con valvola a rochetto (fig. 1)

Il comando avviene mediante un dispositivo a rullo a forma di "rochetto" (Power Valve System). Tale valvola, posizionata trasversalmente rispetto al condotto di scarico, è sagomata con un profilo ribassato provvisto di un contorno a spigolo. A seconda del regime di rotazione del motore, la sezione di passaggio dei gas di scarico varia.

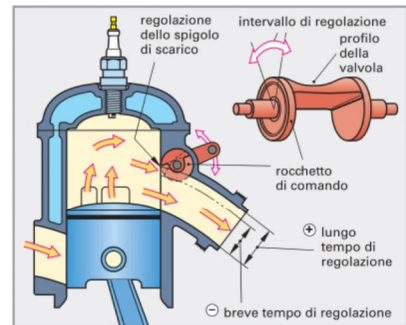


Figura 1: Comando dello scarico con valvola a rochetto

A bassi e medi regimi di rotazione, lo spigolo superiore della luce di scarico (spigolo di comando) viene "spostato" verso il basso mediante la rotazione del rochetto, riducendo così la sezione di passaggio dei gas di scarico. In tal modo, l'angolo e il tempo di comando sullo scarico sono accorciati, impeden-

do il deflusso di gas freschi nel condotto di scarico; nel contempo, aumenta la corsa "utile" del pistone e l'effettivo rapporto di compressione. Un istante prima del raggiungimento del massimo regime di rotazione, la valvola a rochetto viene riposizionata in modo da liberare completamente la sezione del condotto di scarico. L'angolo e il tempo di comando sullo scarico raggiungono valori maggiori. Lo spostamento della valvola è ottenuto mediante un sistema centrifugo oppure con un servomotore. Il servomotore, come misura di riferimento, rileva la quantità di impulsi di accensione.

Caratteristiche del comando sullo scarico

- I sistemi di comando con valvola a rochetto hanno diagrammi della distribuzione simmetrici.
- Diminuzione delle perdite di gas freschi nella fase di lavaggio.
- Elevata coppia motrice e potenza a bassi e medi regimi di rotazione.
- Forte sollecitazione termica del rochetto e sensibilità ai depositi carboniosi.
- Cattivo raffreddamento della parete del cilindro in corrispondenza dello scarico.

14.1.4 Particolarità costruttive

Carter

Il carter deve essere a tenuta ermetica verso l'esterno e avere una forma compatta, così da garantire la necessaria pressione di precompressione. Come guarnizione dell'albero motore si utilizzano guarnizioni radiali per alberi. Nei motori pluricilindrici, l'albero motore deve essere chiuso a tenuta stagna anche attorno ai cuscinetti intermedi, impedendo in tal modo che si verifichino processi di ricambio dei gas indesiderati fra i diversi cilindri.

Lubrificazione

Dato che il carter serve per la precompressione della miscela aria-carburante e che, di conseguenza, non può venire predisposto un sistema di lubrificazione a pressione in circuito chiuso, quasi la totalità dei motori a due tempi dispone di una lubrificazione mediante miscela oppure di sistemi di lubrificazione separata.

Lubrificazione a miscela. L'olio lubrificante è aggiunto al carburante con un rapporto compreso tra 1:25 e 1:100 (di solito 1:50). Nel motore, in temperatura di esercizio, il carburante evapora in modo che l'olio possa andare a depositarsi sui cuscinetti e sulle pareti del cilindro.

Lubrificazione separata (fig. 1, pag. 363). Il carburante e l'olio lubrificante sono contenuti in serbatoi separati. Dal serbatoio dell'olio, mediante una pompa di dosaggio, il lubrificante viene mescolato al carburante oppure immesso direttamente nel condotto di aspirazione dove viene trainato dalla miscela aria-carburante. Inoltre, anche i cuscinetti dell'albero motore sono riforniti di olio lubrificante. La pompa dosatrice a pistoncino è mossa dall'albero

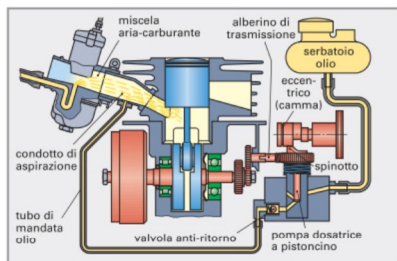


Figura 1: Lubrificazione separata con pompa dosatrice

motore per cui l'apporto di olio dipende dal regime di rotazione. La molla a spirale spinge il pistoncino sull'eccentrico dell'attuatore mediante l'interposizione di uno spinotto. Per mezzo di una manopola di regolazione, la posizione dell'eccentrico può essere variata; la quantità di lubrificante inviata dipende così anche dal carico motore. Mediante il dosaggio, in rapporto sia al regime di rotazione sia al carico, si può ottenere un'importante riduzione del consumo di olio (rapporto di miscelazione 1:100 e più magro).

Albero motore e biella

Per il supporto dell'albero motore sono adottati cuscinetti volventi. Per utilizzare i soliti cuscinetti volventi non divisi (cuscinetti ad aghi o a rulli), l'albero motore deve essere scomponibile.

Pistone

Nel motore a due tempi, il pistone raggiunge, a causa del doppio numero di fasi di lavoro e della regolazione della luce di scarico, una temperatura molto più elevata rispetto a un pistone in un motore a quattro tempi. Anche la dilatazione termica è elevata. Maggiori sono i giochi di montaggio per il pistone, maggiore sarà la dilatazione termica che lo spinotto e le fasce elastiche dovranno compensare. Anche i canali di aspirazione e di travaso possono condurre flussi di gas freschi attraverso il pistone, contribuendo, quindi, ad un miglior raffreddamento. La regolazione delle luci del cilindro può essere in parte effettuata da finestre nel mantello del pistone (fig. 2), che però ne riducono la stabilità, aumentandone la deformazione. Per motori a due tempi con regime di rotazione elevato, sono adottati pistoni estremamente leggeri allo scopo di contenere le forze inerziali. Per il fissaggio assiale degli anelli. Questi anelli, se il loro senso di montaggio non è rispettato, agli alti regimi di rotazione del motore (fino a 16.000 giri/min), potrebbero uscire dalla loro sede e causare danni al motore.

Fasce elastiche. Si utilizzano per lo più fasce elastiche a sezione rettangolare. Per contenere le perdite



Figura 2: Pistone monometallico con finestre

di attrito, i piccoli motori a due tempi dispongono frequentemente di un sola fascia elastica a forma di L. Questa soluzione garantisce una tenuta soddisfacente alla pressione esercitata dai gas combusti sulle pareti del cilindro. I pistoni dei motori a due tempi non adottano fasce raschiaolio, visto che la quantità di olio messa in circolazione dal sistema di lubrificazione separato è minima. In ogni sede delle fasce elastiche è presente un arresto di sicurezza (fig. 2) che impedisce la rotazione della fascia dalla propria sede. In caso contrario, le estremità della fascia elastica potrebbero ruotare spostandosi in corrispondenza delle luci esistenti nel cilindro e, di conseguenza, fuoriuscire parzialmente dalla propria sede, provocando danni rilevanti.

Cilindro

Nelle pareti del cilindro sono presenti dei canali che permettono il passaggio dei gas. I canali sboccano nel cilindro con una finestra per lo più rettangolare, denominata "luce". Le fasce elastiche e i pistoni si muovono contro gli spigoli orizzontali oppure arcuati dalle luci, senza subire sollecitazioni. Luci particolarmente lunghe in senso orizzontale dispongono di un traversino centrale, impedendo alla fascia di espandersi oltre il limite. Le luci di scarico, in particolare, possono venire ristrette da depositi carboniosi. Il cattivo lavaggio che avviene in queste condizioni ha come conseguenza che la miscela aria-carburante infiammabile si produca solo ogni secondo ciclo di lavaggio, causando così mancate accensioni e conseguenti perdite di potenza.

Impianto di scarico

Il processo di lavaggio in un motore a due tempi dovrebbe impedire che gas fresco fuoriesca incombusto nel sistema di scarico. Per questo motivo, l'impianto di scarico e il condotto di aspirazione sono accordati fra di loro, eventualmente con il rispettivo silenziatore e filtro aria.

Modifiche al sistema di scarico sono contrarie alle normative di legge e conducono all'annullamento della licenza di circolazione.

Nella fig. 1 a pag. 364 è illustrato il principio di un sistema di scarico a risonanza. All'uscita del collet-

tore di scarico (1) è fatto seguire un cono divergente (2) che produce una depressione nel flusso di scarico, originando un effetto risucchio nel cilindro. Nella parte centrale di forma cilindrica (3), si produce un'onda d'urto di gas che è riflessa dal cono convergente (4) e, successivamente, rimandata verso la luce di scarico sotto forma di onda d'urto di ritorno. La parte di gas freschi momentaneamente fuoriuscita è, a sua volta, rimandata nel cilindro, diminuendo il tenore di HC nello scarico.

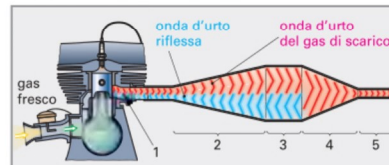


Figura 1: Sistema di scarico a risonanza

Riduzione delle emissioni nocive allo scarico. Per il contenimento delle emissioni di CO e HC, sono adottati catalizzatori a ossidazione non regolati. I residui di olio incombusto nello scarico diminuiscono l'efficienza del catalizzatore.

14.1.5 Impiego del motore a due tempi

Con l'inasprimento delle normative di legge relative alle emissioni dei gas di scarico, il motore a due tempi è sempre meno utilizzato. Dal 2006, per i ci-

lomotori fino a 50 cc di cilindrata, sono in vigore valori limite secondo le norme Euro 2, mentre per le motociclette valgono le norme Euro 3. Per i piccoli motoveicoli (Euro 3), i limiti di emissione pianificati a partire dal 2016 possono essere mantenuti soltanto con l'adozione dell'iniezione diretta.

Vantaggi rispetto al motore a quattro tempi

- Semplicità di costruzione, riduzione dei componenti in movimento (presenza solo di pistone, biella e albero motore).
- Omogeneità di coppia motrice, assenza di cicli di lavoro neutri (a vuoto).
- Ridotte vibrazioni, regolarità di funzionamento a parità di numero di cilindri.
- Compattezza e leggerezza di costruzione.
- Minore rapporto peso-potenza del motore, maggiore potenza specifica.
- Costi di produzione ridotti.

Svantaggi rispetto al motore a quattro tempi

- Peggiore riempimento.
- Alti valori di emissione dei gas di scarico, specialmente di HC.
- Maggiore sollecitazione termica, mancanza di cicli neutri.
- Pressioni medie effettive minori a causa del cattivo riempimento del cilindro.
- Funzionamento al minimo scadente a causa delle rimanenze di gas di scarico nel motore.
- Maggior consumo di carburante e di olio.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

- Utilizzo di oli speciali per due tempi (miscelazione diretta) solo secondo prescrizioni del costruttore e nel rapporto di miscela indicato.
- Pulizia regolare del filtro dell'aria.
- Evitare di utilizzare utensili taglienti per la rimozione dei depositi carboniosi, evitare graffiature (incisioni).
- Nella pulitura della testa del pistone, evitare di molarla o smerigliarla a lucido: potrebbe portare a surriscaldamento e aumento dei depositi carboniosi.

Difetti di funzionamento

Calo di potenza dovuto, per esempio, a:

- intasamento del filtro dell'aria, sedimentazioni e incrostazioni carboniose di olio;
- ventilazione difettosa del serbatoio del carburante;

- insufficiente alimentazione di carburante;
- candela imbrattata (di olio, di incrostazioni);
- errata regolazione del punto di accensione;
- cattiva compressione;
- carter pompa non ermetico.

Il motore scalda, per esempio, a causa di:

- imbrattamento dell'attrezzatura di raffreddamento;
- problemi nell'impianto di raffreddamento;
- utilizzo di miscela aria-carburante troppo magra per errata regolazione del carburatore o utilizzo di olio inadatto;
- insorgenza di detonazione a causa di candele inadatte oppure per presenza di incrostazioni carboniose (testa del pistone, camera di scoppio);
- assorbimento di calore eccessivo a causa di smerigliatura al metallo lucido della testa del pistone.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono le differenze tra il motore a ciclo Otto a due tempi e il motore a ciclo Otto a quattro tempi?
- 2 Per quale motivo il lavaggio in controcorrente è il sistema di lavaggio più adottato?
- 3 Come funziona il sistema di lubrificazione separata?

- 4 Cosa si intende per diagramma di distribuzione asimmetrico?
- 5 Quali vantaggi porta un diagramma di aspirazione asimmetrico?
- 6 Per quale motivo nelle sedi delle fasce elastiche dei motori a due tempi sono presenti arresti di sicurezza?

14.2 Motore a pistone rotativo*

Nei motori classici a pistoni, il moto lineare e alternato dei pistoni è trasformato in moto rotatorio tramite l'insieme biella-albero motore.

Nel motore rotativo, il pistone gira e produce direttamente, durante la fase di espansione, una forza centrifuga. Il baricentro del pistone rotativo descrive una traiettoria circolare.

Grazie all'assenza di accelerazione e decelerazione delle masse in moto alternato, a parità di peso del motore, si ottiene una potenza maggiore.

Il motore rotativo funziona secondo il principio:

- **a quattro tempi**, quando presenta un ricambio dei gas di tipo chiuso;
- **a due tempi**, quando il pistone (rotore) comanda il ricambio dei gas mediante luci nel mantello di scorrimento dove a un giro di albero ad eccentrici corrisponde un ciclo di lavoro.

14.2.1 Struttura

Il mantello di scorrimento dello statore ha una forma epitrocoidale (fig. 1). Al centro dello statore, è posizionato il pignone, unito in modo solidale alla parete laterale dello statore stesso.

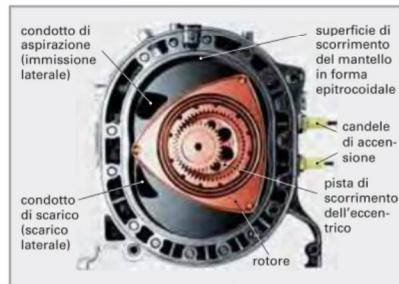


Figura 1: Statore con rotore

Al centro delle pareti laterali è posizionato l'albero a eccentrici, sui quali ruotano i rotori.

Mediante guarnizioni di tenuta, il rotore (fig. 3) risulta ermetico verso tutte le superfici di contatto.

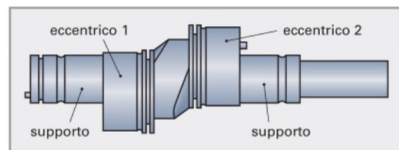


Figura 2: Albero a eccentrici di un motore bi-rotore

* Ideato da Felix Wankel, 1954

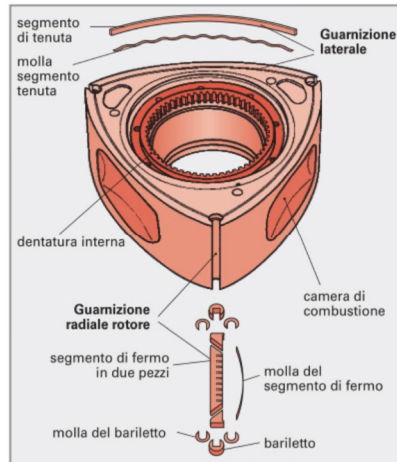


Figura 3: Rotore con elementi di tenuta

Il rotore è dotato di una dentatura interna che appoggia e ruota sul pignone fisso nella parete laterale. Grazie alla dentatura, durante il movimento rotatorio non avviene una trasmissione di forza, ma soltanto il comando del rotore. In questo modo, quest'ultimo gira costantemente in fase rispetto all'albero ad eccentrici e allo statore.

Il rapporto fra i denti del pignone fisso e quelli della dentatura interna del rotore è di 2:3. Rotore e albero hanno lo stesso senso di rotazione: il rotore, quindi, è più lento rispetto all'albero.

Caratteristiche del motore rotativo

- Elevata regolarità di funzionamento, presenza unica di componenti principali (pistone/rotore e albero a eccentrici), equilibratura perfetta.
- Mancanza di altri componenti di comando del ricambio di gas (distribuzione motore).
- Sezioni dei condotti dei gas (aspirazione e scarico) senza restringimenti.
- Minor numero di componenti costruttive, minor peso.
- Non necessita di un carburante ad alto potere antidetonante.
- Buona adattabilità al funzionamento con l'idrogeno.
- Conformazione della camera di combustione sfavorevole.
- Elevato consumo di carburante e di olio lubrificante.
- Elevati valori di HC nei gas di scarico.
- Ermeticità critica del rotore.
- Elevati costi di produzione.

14.2.2 Funzionamento

Il motore rotativo (fig. 1) è una macchina a 3 camere, indicate in figura, rispettivamente, con 1, 2 e 3. Mediante il movimento del pistone, le camere si ingrandiscono o si rimpiccioliscono. Nella modalità a quattro tempi, nel corso di 3 giri dell'albero, in ognuna delle 3 camere, una dopo l'altra, si completa il ciclo di lavoro: aspirazione, compressione, espansione e scarico. Con il movimento in senso antiorario del pistone, nella camera 1 si attua l'aspirazione della miscela aria-carburante (a, b, c, d).

Nella camera 2 si svolge nel contempo la fase di compressione (a, b, c). Alla fine della compressione, si compie l'accensione (c). In seguito i gas si espandono, producendo lavoro nella camera 2 col movimento in senso antiorario del pistone a portata eccentrica (c, d). Nel contempo, il rotore, grazie alla sua dentatura interna, poggia sul pignone solidale con la parete dello statore, producendo una forza rotativa sull'albero a eccentrici e svolgendo così il compito

che, nel motore a moto alternato, è eseguito dall'albero a manovelle. Contrariamente alla necessità di trasmissione mediante una biella, la forza sviluppata dal pistone rotativo è trasferita direttamente sull'albero. Nella camera 3 si compie la fase di espansione (a) e, in seguito, la fase di scarico (b, c, d). Mentre il centro dell'eccentrico ruota di 270° in senso antiorario (angolo α), il lato A-B del pistone ruota solo di 90° (angolo β). In questo modo, 3 rotazioni di albero corrispondono solamente a un giro di pistone con 3 fasi di lavoro. Ciò significa che il pistone gira, avanzando nel mantello, solo di un terzo rispetto alla velocità di rotazione dell'albero e, di conseguenza, il pistone rimane di due terzi arretrato rispetto alla posizione dell'albero a eccentrici. Per questo motivo, l'usura degli elementi di tenuta ermetica (guarnizioni) viene ad essere relativamente contenuta, malgrado l'elevato regime di rotazione sviluppato dall'albero. Come regime di rotazione del motore, è indicato quello dell'albero.

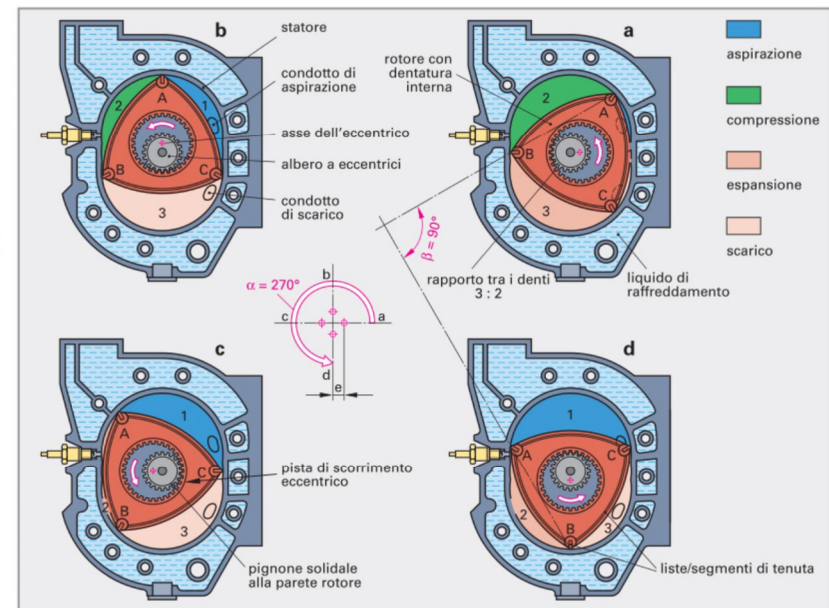


Figura 1: Funzionamento di un motore a pistone rotativo

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali vantaggi ha il motore a pistone rotativo?
- 2 Da cosa si differenzia il motore rotativo dal motore a moto alternato?
- 3 A quale tipologia di motore è comparabile il motore rotativo relativamente al ciclo di lavoro e al ricambio dei gas?