IL MOTORE DIESEL

meccanici e termici oltremodo elevati sul manovellismo e una sensibile riduzione di potenza.

Cause del battito in testa
Oltre all'utilizzo di carburanti non idonei, il battito può essere causato da:

- accensione troppo anticipata;
- ripartizione irregolare della miscela nel cilindro;
- cattiva cessione di calore in presenza di depositi carboniosi oppure di difetti di raffreddamento;
- rapporto di compressione eccessivamente elevato (per l'impiego di una guarnizione della testata di spessore minore rispetto a quella originale).

Battito in fase di accelerazione
Si produce principalmente in caso di accelerazione a pieno carico a basso regime di rotazione (accelerazione sotto regime di coppia). La causa è l'utilizzo di carburante con insufficiente indice di ottani (RON) e una scorretta impostazione del punto di accensione.

Battito alla velocità massima
Si tratta di un battito che si presenta spesso ai regimi di rotazione elevati e a pieno carico. La causa è dovuta il più delle volte all'impiego di carburante con un insufficiente RON, oppure di carburante in cui il differenziale tra RON e MON (numero di ottani) è elevato (Sensivity). In questi casi, si può verificare un surriscaldamento del motore, causa di danni quali bruciature delle valvole e delle guarnizioni della testata, del cielo del pistone e, spesso, anche di grippaggi del pistone.

Accensioni spontanee
Sono originate da particelle in stato di fusione presenti nella camera di scoppio prima ancora della normale accensione della miscela aria-carburante da parte della scintilla della candela (accensione anticipata incontrollata).

10.2 Il motore Diesel

Così come il motore a ciclo Otto, anche il motore Diesel è una macchina di potenza a combustione.

Struttura
Il motore Diesel (**fig. 1**) è costituito come il motore a ciclo Otto essenzialmente da 4 gruppi costruttivi, con l'aggiunta di diversi dispositivi ausiliari:

- blocco motore;
- manovellismo;
- sistema di distribuzione;
- sistema di alimentazione con impianto di iniezione, pompa di alimentazione, filtro carburante, impianto di iniezione ad alta pressione, per esempio, sistema Common Rail e sistema iniettore pompa;
- dispositivi ausiliari, circuito di lubrificazione, circuito di raffreddamento, ossia sistema di scarico, sistema di sovralimentazione (turbocompressore a gas di scarico con raffreddamento del flusso di immissione aria tramite intercooler), sistema di avviamento a freddo (candeletta ad incandescenza).

Il motore Diesel per veicoli è utilizzato in quasità di motore veloce con regime di rotazione fino a 5000 giri/min su autovetture e veicoli utilitari leggeri. I motori Diesel cosiddetti lenti, ossia che hanno un regime di rotazione fino a 2200 giri/min, sono utilizzati su veicoli pesanti.

I motori Diesel hanno un consumo di carburante fino al 30% inferiore rispetto ai motori a ciclo Otto. Il grado di efficienza può raggiungere il 46%.

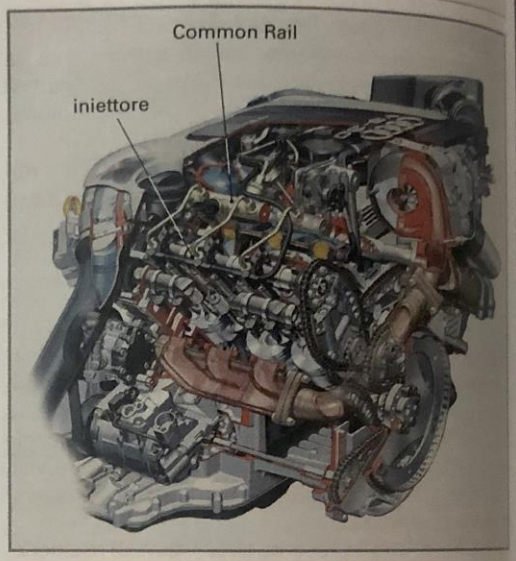

Figura 1: Motore Diesel per autovetture

10.2.1 Caratteristiche del motore Diesel

- **Funzionamento** con carburante diesel (gasolio) oppure biodiesel.
- **Miscelazione interna**, nella fase di aspirazione, nel cilindro è immessa unicamente aria. La miscela aria-carburante è formata nella fase di compressione mediante iniezione di carburante ad alta pressione.
- **Accensione spontanea,** il carburante si incendia spontaneamente, subito dopo la sua iniezione nell'aria contenuta nel cilindro divenuta estremamente calda nella fase di compressione.
- **Regolazione (dosaggio) della quantità,** il motore aspirato non dispone di valvola a farfalla a monte del collettore di aspirazione. Per questo motivo, durante tutta la fascia di utilizzo del regime di rotazione, il riempimento è costituito da una massa di aria continua e costante. La regolazione di carico (potenza) avviene mediante la variazione della quantità di carburante iniettato, modificando di fatto la miscela aria-carburante in funzione del carico di utilizzo.

10.2.2 Funzionamento del motore Diesel

Come per il motore a ciclo Otto, le 4 fasi di un ciclo di lavoro sono aspirazione, compressione, espansione e scarico (**fig. 1**). Un ciclo di lavoro avviene in 2 giri di albero motore (720 °AM).

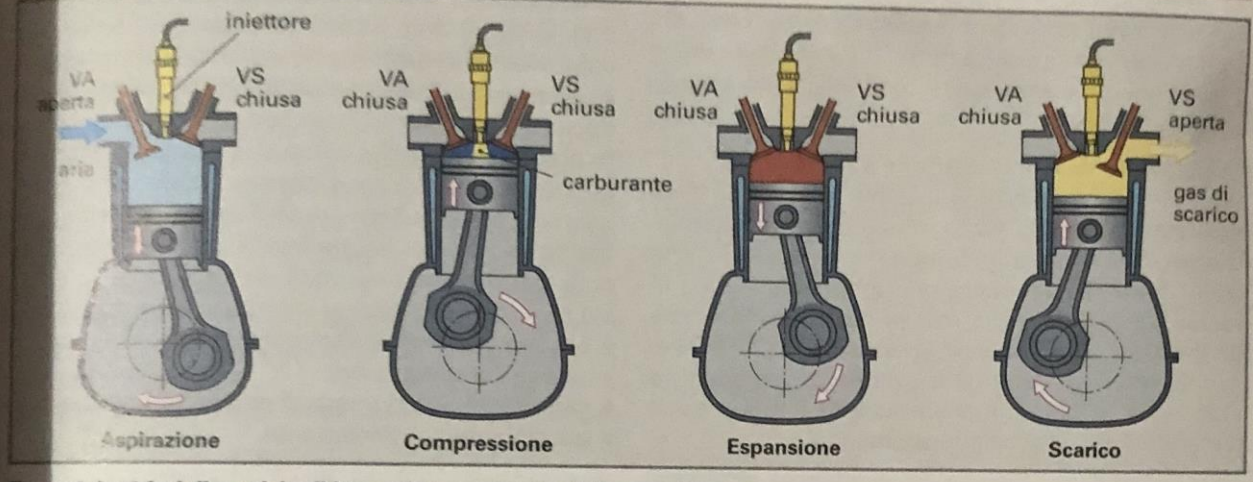

Figura 1: Le 4 fasi di un ciclo di lavoro in un motore a iniezione diretta

1ª fase - aspirazione	2ª fase - compressione	3ª fase - espansione	4ª fase - scarico
Durante la corsa discendente del pistone, nel cilindro si crea una depressione rispetto alla pressione atmosferica esterna che va da –0,1 a –0,3 bar. In conseguenza della maggior pressione dell'aria esterna, la stessa è spinta nel cilindro. L'immissione di aria avviene a sezione di apertura costante nel condotto d'aspirazione, in quanto non è prevista una farfalla di regolazione. Per permettere che nel cilindro venga immesso un maggior volume di aria, la VA apre già a 25 °AM prima del PMS e chiude poi 28 °AM dopo il PMI. Questa situazione favorisce un ulteriore traino di aria aspirata (sfruttamento dell'inerzia della colonna d'aria). Nel cilindro, prima della fase di compressione, l'aria raggiunge la temperatura di 70-100 °C.	Durante la corsa ascendente del pistone nel cilindro, l'aria contenuta nello stesso è compressa da 14 fino alla 24 volte rispetto al volume iniziale, in modo che l'aria raggiunga una temperatura di 600-900 °C. Dato che l'aria non può dilatarsi alle elevate temperature, la pressione di compressione sale a 30-55 bar. I motori con camere di scoppio annesse, come per esempio una camera di turbolenza, devono raggiungere valori di compressione più elevati, a causa delle maggiori perdite di calore dovute alla maggior superficie complessiva della camera di scoppio.	Verso la fine del ciclo di compressione, a circa 15-30 °AM prima del PMS, nella camera di scoppio viene iniettato carburante diesel finemente polverizzato ad alta pressione (fino a 2050 bar). Nell'aria a temperatura elevatissima formatasi nel cilindro, il gasolio evapora e si mescola alla medesima. Dato che la temperatura dell'aria così compressa è superiore alla temperatura di accensione spontanea del carburante, si innesca la combustione. Il tempo che intercorre tra l'inizio dell'iniezione e l'inizio della combustione è definito come ritardo di accensione. Per mezzo dell'alta pressione di combustione, che si situa fino a 160 bar, il pistone discende verso il PMI, così che l'energia calorica è trasformata in energia meccanica.	La VS apre 30 °AM fino a circa 60 °AM prima del PMI, facilitando l'espulsione dei gas di scarico e, nel contempo, sottoponendo il manovellismo a un alleggerimento del carico. Mediante la pressione rimanente alla fine della fase di espansione di 4-6 bar, i gas di scarico sono poi espulsi dal cilindro a temperature di 550-750 °C. Nella seguente corsa ascendente del pistone, la rimanenza dei gas è sospinta fuori dal cilindro con una pressione di 0,2-0,4 bar. Dal momento che le temperature dei gas di scarico sono più basse, le perdite di calore sono inferiori a quelle del motore a ciclo Otto (grado di efficienza superiore).

Motori a iniezione indiretta

Il carburante è iniettato in una camera di scoppio annessa (camera di turbolenza o precamera). La presenza di due camere di scoppio genera una superficie di combustione più estesa che porta a perdite di calore maggiori e un conseguente peggioramento del grado di efficienza rispetto ai motori Diesel a iniezione diretta. Inoltre, provoca un aumento del consumo specifico. Per questo motivo, attualmente non sono più prodotti motori Diesel a iniezione indiretta. Il rapporto di compressione ε per motori Diesel a iniezione indiretta si situa tra 18 e 24.

Motori a iniezione diretta

Il carburante è iniettato direttamente nella camera di scoppio. L'aria portata a temperature fino a 900 °C nella fase di compressione cede poco calore alla superficie compatta della camera di scoppio. Per questo motivo, rispetto al motore Diesel a iniezione indiretta, ne risulta un grado di efficienza superiore e, di conseguenza, un minor consumo specifico di carburante. I motori Diesel a iniezione diretta per autovetture hanno un rapporto di compressione ε che si situa tra 14 e 27, mentre per veicoli pesanti tra 14 e 19.

10.2.3 Processo di combustione del motore Diesel

Nel motore Diesel, l'iniezione avviene in modo tale che la quantità principale di carburante arrivi nella camera di combustione solo dopo che la prima parte del carburante sia già stata incendiata, al fine di assicurare la continuità della combustione.

Svolgimento della miscelazione interna

Dopo l'inizio dell'iniezione, il carburante liquido deve essere ancora trasformato in una miscela incendiabile. La **tab. 1** mostra il tempo intercorso dall'inizio di iniezione fino all'accensione spontanea. Nella miscelazione interna della massa d'aria divenuta caldissima è sottratto calore e la massa d'aria, di conseguenza, diminuisce di temperatura. La temperatura dell'aria deve, però, rimanere sempre al di sopra alla temperatura di accensione spontanea.

Tabella 1: Miscelazione interna e innesco combustione

Fabbisogno temporale, ritardo accensione / Assorbimento di calore dalla massa di aria calda	Il carburante, finemente nebulizzato, ma ancora allo stato liquido, è iniettato nella massa d'aria calda
	Le goccioline di carburante formatesi vengono riscaldate alla temperatura di ebollizione
	Il carburante evapora alla temperatura di ebollizione
	I vapori di carburante si mescolano con la massa di aria calda
	I vapori di carburante si riscaldano fino alla temperatura di accensione
	La miscela aria-carburante si infiamma
	La combustione è innescata

Ritardo di accensione nel motore Diesel

Il lasso di tempo necessario per il completamento della miscelazione interna fino all'innesco della combustione è definito come ritardo di accensione.

Normalmente, il ritardo di accensione nel motore Diesel è di circa 0,001 s (1 ms). Esso dipende essenzialmente:

- dalla struttura molecolare del carburante (accendibilità, numero di cetano);
- dalla temperatura raggiunta dalla massa compressa di aria un istante prima dell'accensione;
- dal grado di nebulizzazione dell'iniezione (grado di pressione, grandezza delle goccioline di carburante).

Più elevati sono i valori di pressione, temperatura e numero di cetano, più il ritardo di accensione risulta breve.

Battito in testa nel motore Diesel

Nel caso di basse temperature del motore e dell'aria aspirata, per esempio all'avviamento a freddo, il lasso di tempo necessario per la formazione della miscelazione interna si allunga. Quando il ritardo di accensione diviene troppo ampio (superiore a 2 ms), il carburante accumulato brucia, provocando colpi violenti e rumorosità, avvertibile come un picchiettamento. Questa situazione è innescata da più nuclei di accensione che hanno origine nel carburante accumulatosi nella camera di scoppio. I picchi di pressione che si creano possono portare a danneggiamenti a livello del manovellismo. Questa forma di battito può essere ridotta mediante l'iniezione anticipata di una piccola quantità di carburante.

Un ritardo di accensione insorge in caso di:

- motore freddo/aria aspirata fredda;
- cattiva compressione;
- carburante con numero di cetano troppo basso;
- gocciolamento di iniettore/i.

10.3 Caratteristiche del motore a quattro tempi

Riempimento

Per riempimento si intende la massa di gas (miscela aria-carburante oppure solo aria) che è immessa nel cilindro durante la fase di aspirazione.

Incremento del riempimento. Al fine di migliorare il riempimento e aumentare la potenza, i tempi di apertura delle valvole di aspirazione sono prolungati dai 180 °AM, che corrispondono alla corsa del pistone, fino a 315 °AM. Nella fase di scarico, i gas combusti fuoriescono dal cilindro attraverso la valvola di scarico ad alta velocità, producendo in tal modo un effetto traino.

Nel caso che la valvola di aspirazione sia aperta prima che il pistone abbia raggiunto il PMS, la miscela aria-carburante oppure la sola massa d'aria può affluire nel cilindro incontro alla corsa del pistone in quanto sospinta dalla depressione creatasi.

L'incrocio delle valvole

Nel lasso di tempo dalla fase di scarico a quella di aspirazione, rimangono aperte sia la valvola di aspirazione sia la valvola di scarico.

Con la valvola di scarico aperta per un prolungato lasso di tempo nella fase di compressione, in conseguenza dell'inerzia della colonna d'aria, la miscela aria-carburante può continuare ad affluire, accelerata nella fase di aspirazione fino a 100 ms (360 km/h). Questo effetto di sovralimentazione cessa nel momento in cui la pressione esercitata dal pistone nella fase ascendente blocca la corrente di gas/aria in entrata. La valvola di aspirazione deve venire richiusa al più tardi in questo istante. Malgrado questo prolungamento del tempo di apertura, il riempimento