

12 Formazione della miscela

12.1 Impianti di alimentazione del carburante nei motori a ciclo Otto

12.1.1 Compiti degli impianti

L'impianto di alimentazione del carburante (fig. 1) deve fornire carburante a sufficienza in tutte le condizioni di esercizio.

L'impianto di alimentazione deve:

- immagazzinare carburante nel serbatoio;
- fornire carburante privo di bolle d'aria;
- trattenere le impurità presenti nel carburante;
- generare la pressione del carburante e mantenerla costante;
- ricondurre il carburante in eccesso nel serbatoio;
- impedire la fuoriuscita di vapori di carburante dal serbatoio.

12.1.2 Struttura dei dispositivi

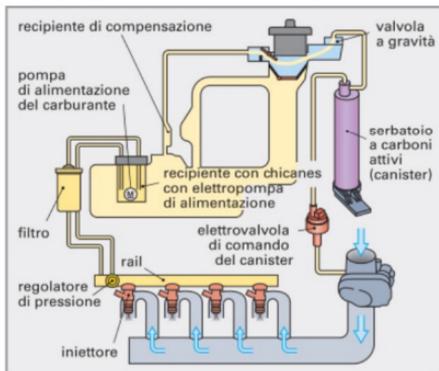


Figura 1: Struttura di un impianto di alimentazione

Il carburante è immagazzinato nel serbatoio. Grazie all'azione della pompa di alimentazione, il carburante sotto pressione è convogliato verso gli iniettori. A valle della pompa di alimentazione è presente un filtro del carburante che trattiene le impurità. La pressione è mantenuta costante e adeguata a quella presente nel collettore di aspirazione grazie a un regolatore. Affinché il quantitativo di carburante sia sempre sufficiente, l'impianto di alimentazione assorbe sempre più carburante di quanto sia necessario: quello in eccesso ritorna nel serbatoio grazie al regolatore di pressione. L'impianto è dotato di un impianto di aerazione e di ventilazione dato che né il carburante né i vapori di benzina possono fuoriuscire nell'ambiente e che nel serbatoio del carburante è necessaria una compensazione della pressione. I vapori di benzina sono immagaz-

zinati temporaneamente nel serbatoio a carboni attivi dell'impianto di rigenerazione e ricondotti nella camera di combustione tramite la valvola di rigenerazione. L'entrata in vigore della On-Board-Diagnostics II (EOBD) prevede il monitoraggio della tenuta del serbatoio del carburante.

12.1.3 Componenti degli impianti

Serbatoio del carburante

Nei veicoli commerciali sono utilizzati prevalentemente serbatoi in lamiera di acciaio in virtù della loro forma semplice e del veloce processo produttivo. I serbatoi sono ricoperti internamente ed esternamente da uno strato anticorrosivo. Nel caso di serbatoi di grandi dimensioni e parzialmente riempiti, è possibile che in curva subentrino improvvisamente forti scuotimenti. Il problema è ovviato attraverso delle paratie di separazione forate che dividono il serbatoio in diversi compartimenti. Anche nel caso delle autovetture sono sempre più impiegati serbatoi in acciaio. Per ottenere la classificazione di Low-Emission Vehicle (LEV) è necessario ridurre notevolmente le emissioni di idrocarburi. L'EOBD, l'equivalente dell'OBDD II, prevede che le perdite da evaporazione non devono superare i 2 g/giorno. L'impiego dell'acciaio consente di raggiungere i valori previsti dalle norme più facilmente rispetto all'impiego di serbatoi in materiali sintetici.



Figura 2: Serbatoio del carburante in PE per autovetture

I serbatoi del carburante con forme complesse sono costruiti prevalentemente con materiali sintetici, per esempio in PE. Garantiscono un'elevata sicurezza contro possibili rotture (i serbatoi devono resistere a un impatto a 80 km/h). Sussiste, tuttavia, il pericolo di una deformazione plastica a fronte delle elevate temperature (oltre i 120 °C negli impianti di iniezione diesel) oltre al problema di una forte diffusione dei vapori di carburante.

In condizioni di guida estreme, in curva o su pendii ripidi, il poco carburante presente nel serbatoio si accumula da un lato. Per garantire che il carburante raggiunga sempre correttamente la pompa di alimentazione, e per svuotare completamente il serbatoio in tutte le sue ramificazioni, sono utilizzati dei recipienti con "chicanes" (fig. 1, pag. 273). Si tratta di piccoli recipienti posti all'interno del serbatoio che sono riempiti da **pompe aspiranti a getto**. Nei recipienti sono presenti anche le **pompe di alimentazione del carburante** (cfr. pag. 273).

Pompe di alimentazione del carburante

Nei moderni impianti di iniezione sono impiegate elettropompe per l'alimentazione del carburante (fig. 1). In caso di tensione nominale, la portata delle elettropompe varia da 60 a 200 l/h. Occorre raggiungere una pressione compresa tra 3 e 7 bar (come pompa di pre-alimentazione negli impianti a iniezione diretta) a fronte del 50-60% della tensione della batteria. Per questo, alla tensione nominale in folle e a carico parziale, il motore è alimentato con molto più carburante di quanto sia necessario. Le elettropompe di alimentazione sono comandate tramite la centralina con un segnale in PWM. In questo modo, la portata può essere adeguata alle condizioni di impiego, si risparmia potenza utile, si evita un inutile surriscaldamento del carburante e si prolunga la durata di vita delle pompe. Le pompe si compongono di:

- un coperchio di collegamento con collegamenti elettrici, la valvola di non ritorno e l'uscita della pompa;
- un motorino elettrico con indotto e magneti permanenti;
- il corpo della pompa.

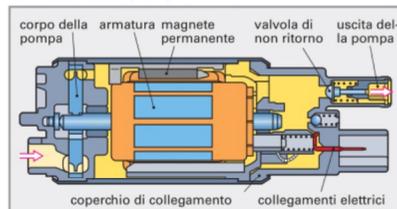


Figura 1: Struttura di un'elettropompa di alimentazione del carburante

A seconda di dove sono montate, si distinguono pompe poste sul tubo di alimentazione e pompe immerse nel serbatoio.

Pompe poste sul tubo di alimentazione. Sono montate in un punto qualsiasi del tubo di alimentazione del carburante, rendendone più facile la sostituzione rispetto alle pompe a immersione. Tuttavia, se montate sotto il fondo della vettura, queste pompe sono più esposte alla corrosione, unitamente alle connessioni elettriche.

Pompe immerse nel serbatoio. Sono generalmente parte integrante dei moduli di alimentazione del carburante montati nel serbatoio. Le pompe a immersione risultano ben protette dalla corrosione. Inoltre, la rumorosità generata risulta attutita dal serbatoio.

A seconda del loro funzionamento, le pompe sono distinte in pompe volumetriche e pompe di circolazione.

Pompe volumetriche (fig. 2). Sono movimentate come pompe a rulli cilindrici oppure come pompe a rotori (a lobi). Nelle pompe volumetriche il carburante viene aspirato e convogliato in un comparto chiuso e rastremato verso la zona ad alta pressione. Le pompe volumetriche consentono di raggiungere pressioni di esercizio oltre i 4 bar e dispongono di una portata elevata anche in presenza di bassa tensione. Generano, tuttavia, rumori pulsanti relativamente forti. Inoltre, perdono notevolmente di potenza se si formano delle bolle di vapore nel carburante caldo dei motori a ciclo Otto. Per questo motivo, sono dotate normalmente di una pompa di circolazione a monte della degasificazione.

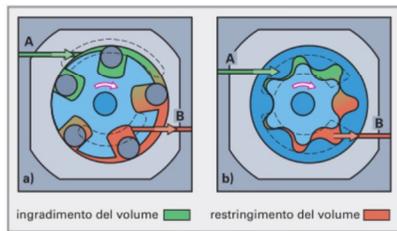


Figura 2: Pompa a rulli cilindrici (a) e pompa a rotore (a lobi) (b)

Pompe di circolazione (fig. 3). Sono generalmente prodotte come pompe periferiche oppure come pompe a canale laterale. Nelle pompe di circolazione, il carburante è accelerato da numerose pale della girante e si crea pressione attraverso lo scambio costante di impulsi. Le pompe di circolazione non sono rumorose perché la pressione si forma senza pulsazioni e continuamente. Non sono inoltre soggette alla formazione di bolle di vapore

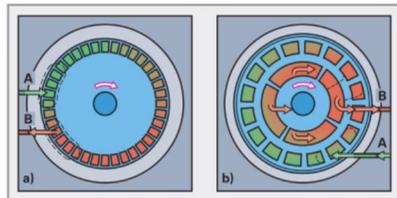


Figura 3: Pompa periferica (a) e pompa a canale laterale (b)

perché il carburante evaporato può essere eliminato grazie a un foro per la degasificazione. Queste pompe raggiungono, tuttavia, solo pressioni di lavoro di 4 bar al massimo.

Elettropompe a due stadi (fig. 1). Se sono necessarie pressioni di sistema elevate, sono impiegate elettropompe di alimentazione a due stadi. Per evitare la formazione di bolle di vapore nella pompa, è inserita una pompa periferica a monte che gestisce l'alimentazione di carburante ed espelle le bolle di vapore. La pompa volumetrica a monte serve a creare la pressione per il sistema.

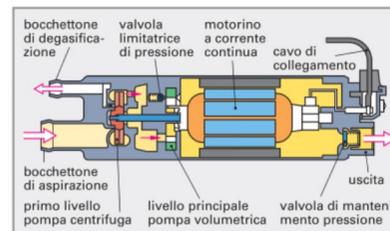


Figura 1: Elettropompa a due stadi

Pompe aspiranti a getto (fig. 2)

Sono pompe di circolazione idrauliche che servono a ridistribuire il carburante all'interno del serbatoio tramite pompaggio. Tramite il flusso del carburante, generato da una pompa elettrica di alimentazione, il carburante è aspirato in corrispondenza dell'apertura dell'ugello di una pompa aspirante a getto, per esempio, dal comparto laterale di un serbatoio. Il carburante viene quindi convogliato nel recipiente con 'chicanes'.

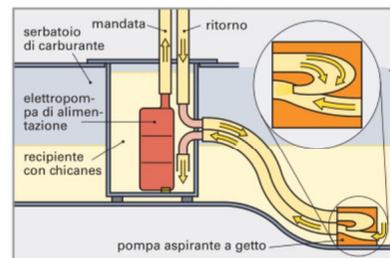


Figura 2: Pompe aspiranti a getto

Tubi di alimentazione del carburante

Come tubi di alimentazione del carburante si utilizzano tubi in acciaio oppure tubi flessibili in gomma o materiale plastico difficilmente infiammabile e resistente al carburante. I tubi flessibili in gomma e materiale plastico si modificano chimicamente

dopo un lungo periodo di utilizzo (invecchiano), si induriscono e diventano porosi; di conseguenza, possono presentare difetti di tenuta.

Nel posizionamento dei tubi di alimentazione del carburante, è necessario verificare che:

- resistano alle torsioni del veicolo e agli scuotimenti del motore;
- siano protetti da danni meccanici;
- non siano posizionati in prossimità di componenti caldi per evitare la formazione di bolle di vapore;
- siano montati il più velocemente possibile per potere eliminare rapidamente le bolle di vapore dal sistema;
- non si possano accumulare dei vapori di benzina nel veicolo nonostante le perdite.

Filtri del carburante

Proteggono l'impianto di alimentazione da impurità, dato che gli iniettori possono essere danneggiati anche da piccolissime particelle solide.

Regolatore di pressione del carburante (sistema a doppio tubo)

Il regolatore di pressione deve mantenere la pressione differenziale costante in tutte le condizioni nel sistema a doppio tubo.

Il regolatore di pressione a membrana (fig. 3) è collegato al collettore di aspirazione e, nel caso dei sistemi a doppio tubo, si trova nel rail (tubo ripartitore).

Si compone di due comparti separati da una membrana: una camera in cui è alloggiata la molla che agisce sulla membrana e una camera per il carburante. Al superamento della pressione prestabilita, una valvola, attivata dalla membrana, abilita l'apertura del tubo di ritorno, attraverso il quale il carburante in eccesso può rifluire nel serbatoio.

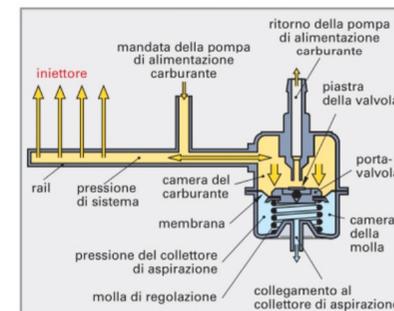


Figura 3: Regolatore di pressione del carburante

Dato che la camera della molla è collegata con il collettore di aspirazione dopo il corpo farfallato, la membrana risulta deformata sia dalla pressione del carburante, sia dalla depressione presente nel collettore di aspirazione. Il regolatore di pressione del carburante modifica la pressione di sistema nel rail in modo tale che la differenza di pressione tra il collettore di aspirazione e l'impianto di alimentazione rimanga costante.

pressione differenziale = pressione di sistema -
pressione nel collettore di aspirazione

Se nel collettore di aspirazione la depressione è pari a $-0,6$ bar, la membrana della valvola si apre grazie alla pressione del carburante e del collettore di aspirazione, contrastando la forza della molla in modo tale che la pressione di sistema scenda a $3,4$ bar. La differenza di pressione Δp è quindi pari a $3,4$ bar - $(-0,6)$ bar = $4,0$ bar.

Tabella 1: Esempi di pressioni del carburante

	Pressione differenziale	Pressione di sistema	Pressione nel collettore
minimo	4,0 bar	3,4 bar	-0,6 bar
carico parziale	4,0 bar	3,7 bar	-0,3 bar
pieno carico	4,0 bar	3,9 bar	-0,1 bar

Nel caso dei sistemi di alimentazione senza il flusso inverso, il regolatore di pressione, che è praticamente quasi identico, si trova nel serbatoio del carburante (fig. 1). La pressione dell'impianto è mantenuta costante tramite la molla e la membrana. Non è presente un collegamento con il collettore di aspirazione. Il carburante in eccesso ritorna direttamente nel serbatoio, motivo per cui non è presente il tubo di ritorno dal rail.

La centralina deve adeguare la quantità e la durata del carburante da iniettare a seconda della pressione presente nel collettore, che le è comunicata tramite un sensore di pressione ubicato nel collettore.

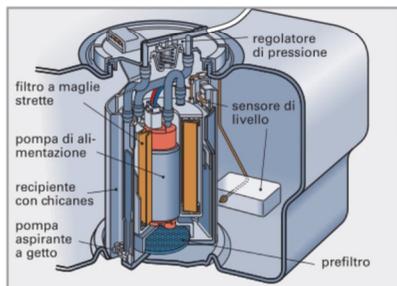


Figura 1: Modulo di alimentazione del carburante

Moduli di alimentazione del carburante (fig. 1)

I componenti del sistema di alimentazione sono raggruppati in moduli di alimentazione montati nel serbatoio.

Indicatore del livello di carburante. Per rilevare il livello di carburante sono utilizzati sensori a leva oppure sensori a immersione. Tramite un tirante, si muove il cursore di un potenziometro. La caduta di tensione sulla resistenza è indicativa del quantitativo di carburante presente nel serbatoio.

Misurazione dei consumi di carburante. Il consumo è calcolato sulla base del tempo di apertura delle valvole moltiplicato per una costante. In questo modo, si calcola quanto carburante fuoriesce dall'iniettore a fronte di una pressione differenziale fissa per unità di tempo.

12.1.4 Aerazione e ventilazione del serbatoio

L'aerazione e la ventilazione del serbatoio sono necessarie per avere una compensazione della pressione nel serbatoio e per consentire un agevole rifornimento. A temperature elevate si deve garantire che il carburante e la relativa pressione elevata del gas possano essere contenuti in recipienti di compensazione. Diversamente, il serbatoio deve essere ventilato quando, durante il funzionamento della vettura, è consumato del carburante. I vapori del carburante non possono essere in nessun caso immessi nell'ambiente.

Il sistema di aerazione e ventilazione è composto dai seguenti elementi (fig. 2).

Recipiente di compensazione. Contiene il carburante che si dilata a causa del calore. A seconda della grandezza del serbatoio, il volume può arrivare a valori compresi tra 2 e 5 litri. Il recipiente di compensazione è collegato tramite un tubo di sfiato al filtro a carboni attivi.

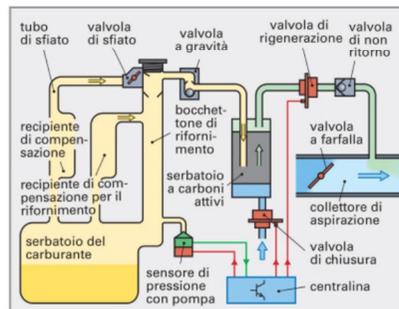


Figura 2: Impianto di aerazione e di ventilazione

Recipiente di compensazione per il rifornimento. Il suo compito consiste nel contenere, per un periodo limitato, i gas che si trovano nel serbatoio e che sono respinti durante il rifornimento, per poi riconvogliarli, tramite un tubo di sfiato, al tubo del bocchettone di rifornimento. Questi gas sono aspirati dalla pistola erogatrice di carburante.

Valvola di sfiato (fig.1). Impedisce che i vapori del carburante, provenienti dal recipiente di compensazione, siano immessi nell'ambiente o siano aspirati. Durante il rifornimento, la valvola rimane chiusa.

Valvola a gravità (fig. 1, valvola di sicurezza anti-ribaltamento). In caso di serbatoio troppo pieno e di posizionamento del veicolo in pendenza, oppure in caso di ribaltamento, il carburante potrebbe fuoriuscire dal serbatoio e raggiungere l'ambiente esterno. Per impedire una simile evenienza, la tubazione collegata al filtro a carboni attivi viene chiusa.

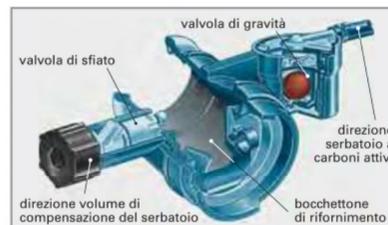


Figura 1: Valvola a gravità e di sfiato

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Indicazioni per la manutenzione

- Sostituzione a intervalli regolari del filtro del carburante (rispettare le indicazioni del costruttore).
- Controllo visivo della tenuta dell'impianto.
- Controllo visivo delle connessioni elettriche (corrosione, danneggiamenti).

Errori e possibili cause

- Il motore non si accende:
 - assenza di benzina nel serbatoio;
 - la pompa non funziona.
- Potenza motore troppo bassa:
 - portata troppo bassa;
 - pressione di mandata troppo bassa a causa del tubo di alimentazione carburante piegato o schiacciato, assenza di alimentazione della pompa, filtro sporco, pompa difettosa (usura) formazione di bolle di vapore.

Possibili diagnosi

- Verifica della portata: misurazione sul regolatore di pressione (nel tubo di ritorno).
- Verifica della pressione di mandata: misurazione sul rail (nel tubo di mandata).

Filtro a carboni attivi. Trattiene gli idrocarburi allo stato gassoso, che si accumulano sui carboni attivi, fino a quando, con la valvola di rigenerazione aperta, non sono aspirati dalla depressione presente nel collettore di aspirazione e sono convogliati nel cilindro per la combustione.

Valvola di chiusura (a partire da EOBD). A motore spento, la tubazione per l'aerazione del filtro a carboni attivi deve rimanere chiusa per impedire che i vapori del carburante escano nell'ambiente esterno. Se i carboni attivi devono essere rigenerati e i vapori del carburante, trattenuti, devono essere ricondotti nella camera di combustione, l'elettrovalvola della centralina motore è comandata e aperta parallelamente alla valvola di rigenerazione.

Valvola di rigenerazione. Questa elettrovalvola è comandata dalla centralina motore, a seconda delle condizioni di esercizio. Quando è aperta, le particelle di carburante, trattenute dal filtro a carboni attivi, attraverso l'apertura della valvola di blocco sono ripulite da aria fresca e aspirate dalla depressione del collettore.

La pompa di diagnosi dell'impianto di alimentazione e il sensore di pressione. L'EOBD prevede la verifica della tenuta dell'impianto di alimentazione. A tale scopo, è possibile immettere nel serbatoio una pressione creata dalla pompa di diagnosi. Un sensore di pressione comunica alla centralina motore la pressione e, in base al suo andamento, è possibile stabilire se l'impianto rispetta i requisiti in materia di tenuta.

- Alimentazione della pompa: gli errori a livello elettronico sono individuati spesso dall'auto-diagnosi. È pertanto necessario fare una lettura degli errori salvati oppure una diagnosi degli attuatori. È possibile verificare l'alimentazione positiva e negativa con un multimetro.

Cause di errori (fig. 1, pag. 275)

- Fusibile difettoso della pompa di alimentazione carburante (verificare la continuità).
- Relè della pompa difettoso (per la verifica fare un ponte tra il morsetto 30 e il morsetto 87).
- Cavi danneggiati o contatti corrosi (misura la caduta di tensione).

Se una pompa di alimentazione carburante non funziona, oltre a un'alimentazione difettosa, le cause possono essere le seguenti:

- la pompa di alimentazione del carburante è difettosa;
- la centralina motore non riceve alcun segnale di giri motore dopo l'accensione;
- la centralina motore non riceve il consenso all'avviamento dall'immobilizer;
- la centralina motore riceve la notifica di un urto da un sistema di bordo di rilevazione di crash (airbag).

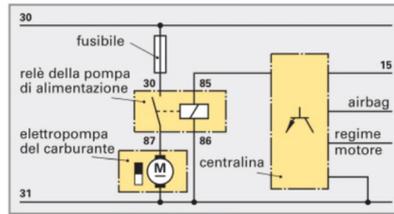


Figura 1: Schema elettrico della pompa di alimentazione del carburante

**Indicazioni sulla sicurezza**

I carburanti per motori a ciclo Otto presentano un punto di fiamma < 21 °C e, secondo la normativa sui liquidi infiammabili, rientrano quindi nella classe di pericolo A I.

Sono altamente infiammabili. Per questo motivo è necessario attenersi alle indicazioni sulla sicurezza in caso di saldatura.

I vapori del carburante sono più pesanti dell'aria. Pertanto, possono creare miscele pericolose nelle fosse o nei pozzetti di scolo. I carburanti contengono benzolo, metanolo, toluene e xilene. Queste sostanze sono tossiche e non devono essere inalate. Inoltre, occorre evitare il contatto con la cute e con le mucose. Per questo motivo, i carburanti per i motori a ciclo Otto non devono essere utilizzati come detergenti.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali componenti sono presenti nell'impianto di alimentazione del carburante?
- 2 Che tipologie di pompe vengono installate nel veicolo? Come si differenziano tra loro?
- 3 Qual è il compito del regolatore di pressione nel sistema a doppio tubo?
- 4 Per quale motivo i sistemi a tubo singolo hanno bisogno di un sensore di pressione nel collettore di aspirazione?
- 5 Quali sono i compiti del sensore di pressione nel collettore di aspirazione?
- 6 Che cosa si intende per modulo di alimentazione del carburante?
- 7 A che cosa è necessario fare attenzione nel posizionare i tubi del carburante?
- 8 Quali componenti rientrano nel sistema di aerazione e ventilazione di un impianto di alimentazione?
- 9 Qual è il compito del recipiente di compensazione?
- 10 Per quale motivo viene utilizzata una valvola a gravità?
- 11 Per quale motivo i carburanti non possono essere utilizzati per la pulizia?

12.2 Formazione della miscela nei motori a ciclo Otto

12.2.1 Principi di base

I motori a ciclo Otto possono essere alimentati da benzina, metano oppure gas di petrolio liquefatto, GPL. La miscela compressa di aria e carburante è incendiata al termine della fase di compressione tramite un impianto ad accensione comandata.

Compito dei sistemi di carburazione

Per ogni condizione di esercizio, i motori devono creare una miscela di aria-carburante che sia sufficiente a garantire che la combustione della miscela sia la più completa possibile.

Combustione completa di una miscela aria-carburante

Tutti gli atomi di carbonio e di idrogeno del carburante sono trasformati per ossidazione in anidride carbonica (CO₂) e/o acqua (H₂O) tramite l'ossigeno presente nell'aria e l'azione esercitata dal calore. Dato che i carburanti contengono un diverso numero di atomi di carbonio e di idrogeno a seconda della struttura e delle dimensioni delle rispettive molecole, la combustione completa del carburante richiede una massa d'aria ben precisa.

La combustione peggiora se la quantità d'aria aumenta o diminuisce. In questi casi, la combustione del carburante avviene solo parzialmente. Se si superano o non si raggiungono alcuni valori soglia del rapporto di miscela (limiti di infiammabilità), la combustione non può avvenire.

Rapporto della miscela

Questo rapporto descrive la composizione della miscela aria-carburante. Si distingue tra un rapporto di miscela teorico e un rapporto di miscela effettivo.

Rapporto di miscela teorico (rapporto stechiometrico = quantitativo d'aria teorico necessario). Indica quanti chili di aria sono necessari per la combustione completa di 1 kg di carburante. Per la combustione di un 1 kg di benzina sono necessari 14,8 kg di aria.

Rapporto di miscela effettivo. Si differenzia da quello teorico per le condizioni di esercizio del motore. Se la quantità di carburante è superiore al valore teorico, per esempio 1:13, si parla di una miscela "grassa" (carezza di aria). Se, viceversa, la quantità di carburante è inferiore al valore teorico, per esempio 1:16, si è in presenza di una miscela "magra" (eccesso d'aria).

Coefficiente d'aria ($\lambda = \text{lambda}$)

Il coefficiente d'aria λ è il rapporto tra la quantità di aria effettivamente fornita alla combustione e il fabbisogno teorico necessario alla combustione completa del carburante.

$$\text{Coefficiente d'aria } \lambda = \frac{\text{massa d'aria aspirata in kg}}{\text{fabbisogno d'aria teorico in kg}}$$

Con un rapporto teorico della miscela 1:14,8, il coefficiente d'aria per la benzina è $\lambda = 1$. In questo caso, il motore riceve la quantità d'aria esatta di cui ha bisogno per avere una combustione completa. Se, invece, per la combustione di 1 kg di carburante vengono utilizzati 16 kg d'aria, il coefficiente d'aria sarà:

$$\lambda = \frac{16,0 \text{ kg d'aria}}{14,8 \text{ kg d'aria}} = 1,08$$

Ciò indica che siamo in presenza di una miscela magra, ossia che contiene più aria di quella necessaria per la combustione completa. L'eccesso d'aria è dell'8%.

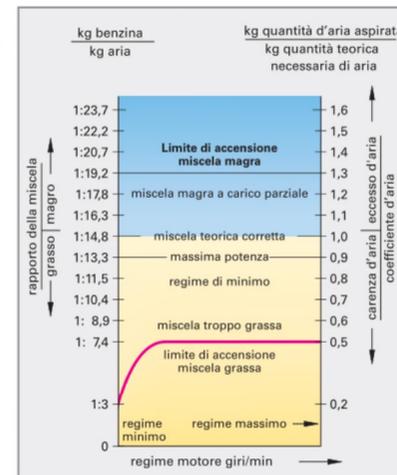


Figura 1: Rapporti di miscela, coefficienti d'aria per benzina

Il consumo, la potenza e i gas di scarico dipendono nelle varie condizioni di esercizio dal coefficiente d'aria.

La correlazione tra il coefficiente d'aria, la coppia e il consumo specifico di carburante sono mostrati nella fig. 2.

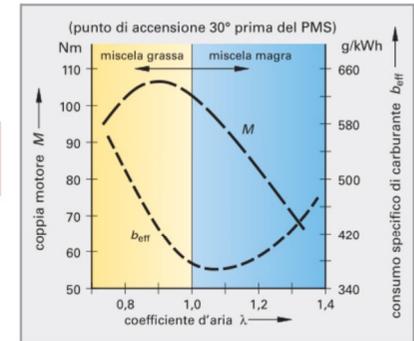


Figura 2: Influsso del coefficiente d'aria

In presenza di un sistema di iniezione indiretto e di catalizzazione, è necessario rispettare il più possibile un coefficiente d'aria $\lambda = 1$ per ottenere valori di emissione favorevoli.

Composizione della miscela

Miscela omogenea. La composizione della miscela è uguale in tutta la camera di combustione. Per ottenere una composizione omogenea, è necessario avere a disposizione il tempo necessario per una miscelazione uniforme di aria e carburante. A tale scopo, l'iniezione viene anticipata durante la fase di aspirazione e/o avviene nel collettore di aspirazione.

Miscela eterogenea. Nella camera di combustione ci sono aree con diversa composizione della miscela (carica stratificata). Un'iniezione ritardata durante la fase di compressione e delle turbolenze ben sintonizzate consentono di avere una composizione della miscela irregolare. Per garantire l'incendiabilità della miscela nei motori a ciclo Otto, deve essere presente un coefficiente d'aria λ il più vicino possibile a 1. Nelle aree periferiche della camera di combustione, la miscela è magra.

Formazione della miscela

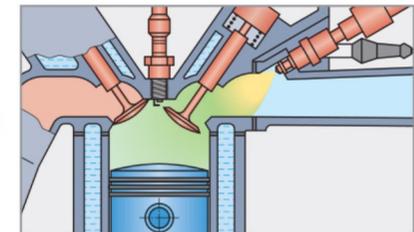


Figura 3: Formazione della miscela esterna

Formazione della miscela esterna (fig. 3, pag. 276). L'iniezione avviene nel collettore di aspirazione immediatamente davanti alla valvola di aspirazione, che è ancora chiusa. Durante l'afflusso di carburante nella fase di aspirazione e la successiva compressione della miscela aria-carburante, rimane tempo a sufficienza per creare una miscela omogenea nella camera di combustione.

Formazione della miscela interna (fig. 1). Il carburante è iniettato direttamente nella camera di combustione. Se l'iniezione avviene prima che la miscela aria-carburante si incendi, aria e carburante non riescono a miscelarsi uniformemente e la miscela rimane eterogenea.

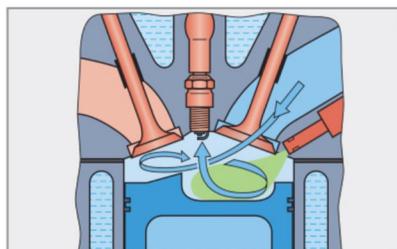


Figura 1: Formazione della miscela interna

Controllo della potenza

Controllo delle quantità. Nei motori a iniezione indiretta e miscela omogenea, l'erogazione di potenza è controllata attraverso l'apertura o la chiusura della valvola a farfalla, in funzione del carico. In questo modo, varia il quantitativo di aria aspirata. La composizione della miscela deve rimanere pressoché identica ($\lambda = 1$).

Controllo della qualità. Nei motori a iniezione diretta e carica stratificata, la gestione della potenza avviene iniettando diversi quantitativi di carburante con valvola a farfalla aperta. La quantità di aria aspirata rimane pressoché uguale. La composizione e la qualità della miscela nella camera di combustione variano a seconda delle condizioni di carico.

12.2.2 Adattamento della miscela alle condizioni di esercizio

A seconda delle condizioni di esercizio, i motori necessitano di quantitativi e di composizioni della miscela ben precisi.

Avviamento a freddo. A motore freddo, evaporano unicamente i componenti del carburante con un punto di ebollizione basso. Un quantitativo elevato di carburante si condensa lungo le pareti fredde del collettore di aspirazione e dei cilindri. In questo modo, una parte del carburante non brucia o bru-

cia solo parzialmente. Tuttavia, per avere una miscela infiammabile nella camera di combustione, è necessario iniettare molto carburante (sino a $\lambda = 0,3$) e la quantità dipende pertanto dalla temperatura del motore.

Data la presenza di forti resistenze dovute a frizione nel motore a basse temperature, per esempio a causa dell'olio motore freddo, è necessario generare una potenza maggiore attraverso un quantitativo maggiore di miscela.

Riscaldamento. Si intende il periodo che va dall'avviamento del motore sino al raggiungimento della temperatura di esercizio. Durante il riscaldamento del motore, la quantità di carburante è ridotta in base alla temperatura. In questa fase si riduce gradualmente l'arricchimento della miscela poiché le perdite, dovute alla condensazione nel collettore, diminuiscono.

Accelerazione. Quando viene rapidamente aperta la valvola a farfalla, la miscela si impoverisce per un breve periodo. Per evitare un calo momentaneo della potenza, deve essere iniettato più carburante.

Pieno carico. Se la valvola a farfalla è completamente aperta, si parla di pieno carico. Per raggiungere la massima potenza del motore, in questa condizione di esercizio, la miscela è generalmente arricchita sino a $\lambda = 0,85-0,95$ (fig. 2, pag. 276).

Decelerazione in cut-off. La valvola a farfalla è chiusa e il motore gira a un regime elevato. Questo avviene quando si percorrono dei tratti di montagna in discesa oppure se il conducente rilascia il pedale dell'acceleratore a grande velocità (fase di rilascio). Per risparmiare carburante non è iniettata benzina sino a quando non viene superato un numero di giri motore predefinito, oppure si riapre la valvola a farfalla.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Che cosa si intende per rapporto di miscela teorico?
- 2 Spiegate il coefficiente d'aria λ .
- 3 Che conseguenze comportano una miscela magra, una miscela grassa oppure una miscela stechiometrica?
- 4 Sino a quale rapporto di miscelazione e/o coefficiente d'aria risulta infiammabile una miscela aria-carburante?
- 5 Che cosa caratterizza la formazione della miscela interna?
- 6 Che cosa si intende per miscela omogenea/eterogenea?
- 7 Che cosa caratterizza la formazione della miscela esterna?
- 8 Per quale motivo la miscela deve essere arricchita in caso di avviamento a freddo del motore?

12.3 Il carburatore

Il carburatore deve polverizzare il carburante e miscelarlo con l'aria nelle giuste proporzioni. La quantità di miscela necessaria deve essere adeguata alle diverse condizioni di esercizio del motore.

12.3.1 Funzionamento generale

Durante la fase d'aspirazione, il movimento del pistone genera un flusso d'aria che attraversa il carburatore. La velocità del flusso d'aria aumenta grazie al restringimento della sezione del tubo diffusore dell'aria (tubo di Venturi, fig. 1). In prossimità del punto più stretto, il flusso d'aria raggiunge la massima velocità e, di conseguenza, la massima depressione (risucchio); è per tale motivo che in questo punto è posizionato l'orificio di uscita della benzina. Il carburante, aspirato dal flusso d'aria, si polverizza e, in corrispondenza della camera di carburazione, inizia a mescolarsi con l'aria. Si ottiene una buona polverizzazione miscelando il carburante grazie al passaggio dell'aria attraverso l'iniettore al di sotto del livello del carburante, creando così una miscela aria-carburante (premiscela). La valvola acceleratore controlla la quantità di miscela aria-carburante e modifica, quindi, la potenza e il regime del motore.

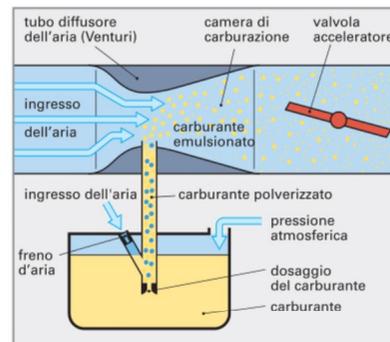


Figura 1: Funzionamento del carburatore

12.3.2 Tipologie di carburatori

A seconda della disposizione del condotto di aspirazione sul motore e della direzione del flusso di aspirazione nel carburatore, si distinguono le seguenti tipologie di carburatori: **carburatori rovesciati, orizzontali e inclinati.**

Di solito si utilizzano i carburatori rovesciati montati sopra la testata, in quanto la miscela aria-carburante cade nel cilindro in direzione della forza di gravità.

I carburatori orizzontali e inclinati rendono possibili brevi condotti di aspirazione. Sono utilizzati anche quando è necessaria una ridotta altezza di montaggio, per esempio sotto il livello della testata. In base al numero e alla funzione dei corpi, si distinguono i seguenti carburatori:

- **carburatori semplici (fig. 2) e carburatori progressivi (fig. 3)** (carburatori a stadi con apertura in sequenza) montati su un unico condotto d'aspirazione;



Figura 2: Carburatore semplice

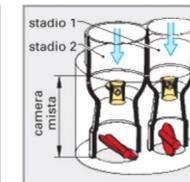


Figura 3: Carburatore progressivo

- **carburatori quadri corpo progressivi (fig. 4);**
- **carburatori a doppio corpo (fig. 5);**
- **carburatori multipli,** utilizzati per condotti di aspirazione separati;

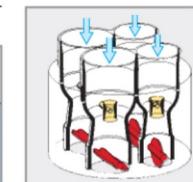


Figura 4: Carburatore quadri corpo progressivo

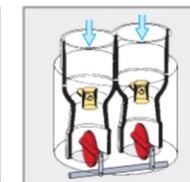


Figura 5: Carburatore a doppio corpo

- **carburatori a depressione costante (fig. 6);** la sezione del diffusore varia durante il funzionamento con una depressione quasi costante;
- **carburatori a ghigliottina (fig. 7),** utilizzati come carburatori per motocicli.

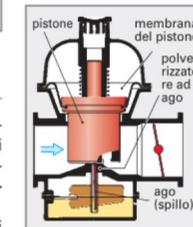


Figura 6: Carburatore a depressione costante

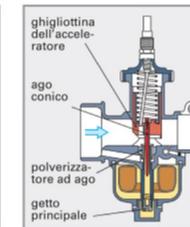


Figura 7: Carburatore a ghigliottina

12.4 L'iniezione di benzina

12.4.1 Principi

Compiti del sistema di iniezione di benzina

Gli impianti di iniezione hanno il compito di iniettare il carburante polverizzato nell'aria aspirata. La quantità di miscela di volta in volta necessaria e il rapporto di miscela devono essere adeguati alle varie condizioni di esercizio.

Negli impianti di iniezione, il carburante è polverizzato finemente e immesso nell'aria tramite gli iniettori grazie alla pressione creata dalla pompa carburante, che aumenta la superficie del carburante iniettato. Il carburante gassifica quindi più rapidamente, si miscela meglio all'aria, favorendo così una migliore combustione, con emissioni di gas di scarico più contenute.

Nel caso dell'iniezione indiretta (formazione della miscela esterna), gli iniettori sono posizionati in modo tale che l'iniezione avvenga direttamente nel collettore di aspirazione oppure nel corpo farfallato. Nel caso dell'iniezione diretta (formazione della miscela interna), gli iniettori sono disposti in modo da consentire l'iniezione nella camera di combustione. Il controllo elettronico dell'impianto deve adeguare il rapporto carburante-aria e la quantità della miscela prodotta ad ogni condizione di esercizio del motore.

Si devono soddisfare i seguenti obiettivi:

- erogazione di elevata coppia motore;
- erogazione di elevata potenza del motore;
- andamento favorevole delle curve caratteristiche del motore;
- basso consumo di carburante;
- valori dei gas di scarico contenuti.

Tipologie di iniezione

Iniezione indiretta

In questa tipologia di iniezione, la miscelazione del carburante con l'aria inizia già al di fuori della camera di combustione.

Durante le fasi di aspirazione e di compressione nella camera di combustione, si forma una miscela aria-carburante omogenea e uniformemente distribuita.

Si distinguono tra:

- **iniezione single point (SPI);**
- **iniezione multi point (MPI).**

Iniezione single point (fig. 1). L'iniezione avviene in una posizione centrale nel corpo farfallato davanti alla valvola a farfalla. La polverizzazione nel corpo farfallato e l'evaporazione, generata dalle parti calde del collettore di aspirazione e/o di ele-

menti riscaldanti gli accessori, migliorano la preparazione della miscela aria-carburante. Attraverso la diversa lunghezza e le diramazioni dei condotti, il carburante non è distribuito uniformemente in tutti i cilindri. I vortici alle estremità dell'impianto e le condensazioni lungo le pareti, soprattutto nei motori freddi, comportano delle composizioni disomogenee della miscela, con conseguente effetto negativo sulla carburazione. La struttura degli impianti single point è notevolmente più semplice rispetto agli impianti multi point.

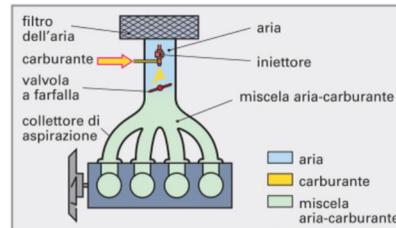


Figura 1: Iniezione single point

Iniezione multi point (fig. 2). Ogni cilindro dispone del proprio iniettore. Gli iniettori sono disposti generalmente nel collettore di aspirazione immediatamente davanti alle rispettive valvole. In questo modo, tutti i condotti presentano uguale lunghezza e la distribuzione della miscela è uniforme. La vicinanza alle valvole di aspirazione riduce la formazione di condensa lungo le pareti nei motori freddi e la produzione di gas di scarico nocivi.

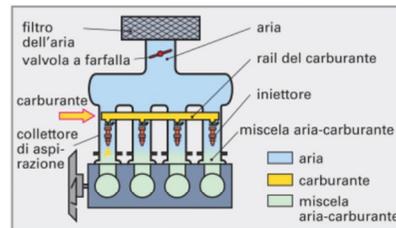


Figura 2: Iniezione multi point

Iniezione diretta (fig. 1, pag. 280)

Negli impianti con iniezione diretta, si hanno quasi sempre sistemi multi point. Tramite gli iniettori comandati elettricamente, il carburante ad elevata pressione (sino a 120 bar) è iniettato direttamente nella camera di combustione (formazione della miscela interna). Qui il carburante si unisce all'aria aspirata, formando una miscela omogenea o eterogenea a seconda della tipologia di motore e delle condizioni di esercizio.

L'iniezione diretta impedisce effetti negativi, come la formazione di condensa lungo le pareti, oppure una distribuzione non uniforme del carburante. In questo caso, tuttavia, l'impianto di iniezione richiede un sofisticato controllo elettronico.

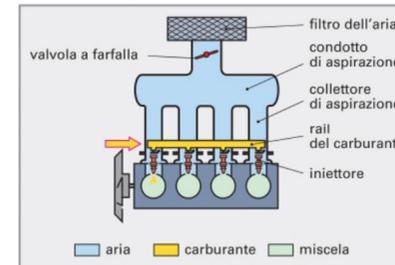


Figura 1: Iniezione diretta

Apertura degli iniettori

Gli iniettori sono attivati idraulicamente dalla pressione del carburante (mediante i polverizzatori) oppure elettromagneticamente (tramite le valvole).

Iniezione continua. Gli iniettori sono attivati dalla pressione del carburante e rimangono aperti durante tutto il ciclo motore. L'iniezione è costante e continua. Il carburante è dosato per mezzo di una pressione di sistema variabile (utilizzata nel K-Jetronic).

Iniezione intermittente. Gli iniettori vengono aperti elettromagneticamente per un breve periodo di tempo e sono richiusi non appena è stata iniettata la quantità calcolata. Rimangono aperti solo temporaneamente. L'iniezione del carburante avviene in base a una durata variabile di apertura degli iniettori.

Nel caso dell'iniezione intermittente, a seconda di come vengono pilotati gli iniettori dalla centralina, si distinguono quattro diverse tipologie di iniezione:

- simultanea;
- a gruppi;
- sequenziale;
- selettiva per cilindro.

Iniezione simultanea (fig. 2)

Tutti gli iniettori del motore sono pilotati contemporaneamente. Il tempo disponibile per l'evaporazione del carburante varia notevolmente da cilindro a cilindro. Al fine di ottenere comunque una composizione omogenea della miscela e una buona combustione, si inietta, ad ogni giro dell'albero motore, metà della quantità di carburante necessaria alla combustione.

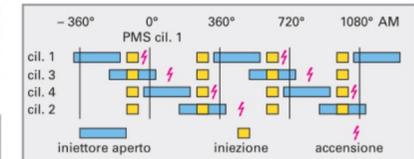


Figura 2: Iniezione simultanea

Iniezione a gruppi (fig. 3)

Gli iniettori dei cilindri 1 e 3 oppure 2 e 4 sono attivati una volta per ogni ciclo di lavoro. L'iniezione dell'intera quantità di carburante avviene davanti alle valvole di aspirazione chiuse.

Il tempo a disposizione per l'evaporazione del carburante non risulta uguale per tutti i cilindri.

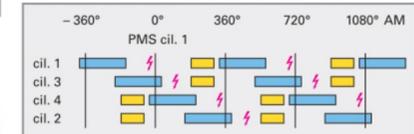


Figura 3: Iniezione a gruppi

Iniezione sequenziale (fig. 4)

Gli iniettori iniettano uno dopo l'altro, nell'ordine di accensione e immediatamente prima della fase di aspirazione nel collettore, l'intera quantità di carburante.

Ne risulta una preparazione della miscela aria-carburante ottimizzata e un miglior raffreddamento interno del motore.

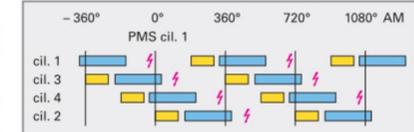


Figura 4: Iniezione sequenziale

Iniezione selettiva per cilindro (fig. 5)

Si tratta di un'iniezione sequenziale. Tramite una migliore sensoristica e un controllo più sofisticato, la centralina riesce a determinare per ogni singolo cilindro un quantitativo specifico di carburante da iniettare.

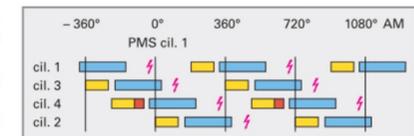


Figura 5: Iniezione selettiva per cilindro

La tab. 1 mostra la suddivisione degli impianti di iniezione a comando elettronico con iniezione intermittente.

Tabella 1: Differenze tra impianti di iniezione a comando elettronico					
Impianto	Iniezione centrale	L-Jetronic	LH-Jetronic	Iniezione guidata da pressione nel col. di asp.	Iniezione diretta
Caratteristiche esterne	impianto di iniezione centrale	rail con iniettori a comando elettrico		misuratore della massa d'aria	pompa di alta pres. del carbur., sens. di pres. e attuatore
		misuratore quantità d'aria	misuratore massa d'aria	collettore di aspirazione	
Tipo di iniezione	iniezione indiretta				iniezione diretta
Luogo di iniezione	davanti alla valvola a farfalla	davanti alla valvola di aspirazione			nel cilindro
N. di iniettori	un iniettore single point	a seconda del numero dei cilindri, multi point			
Iniezione intermittente	iniezione ciclica	simultanea o a gruppi	sequenziale o selettiva per cilindro	sequenziale	selettiva per cilindro
Principali grandezze di comando	<ul style="list-style-type: none"> angolo della valvola a farfalla regime 	<ul style="list-style-type: none"> quantità d'aria regime 	<ul style="list-style-type: none"> massa d'aria regime 	<ul style="list-style-type: none"> pressione nel collettore di asp. regime 	<ul style="list-style-type: none"> richiesta (massa d'aria, regime)

12.4.2 Struttura e funzionamento della iniezione elettronica di benzina

I sistemi elettronici di iniezione (fig. 1, pag. 282) si compongono principalmente di tre elementi:

- **impianto di aspirazione**
filtro aria, condotto di aspirazione, valvola a farfalla, collettori di aspirazione singoli;
- **impianto di alimentazione**
serbatoio, pompa di alimentazione del carburante, filtro carburante, regolatore di pressione, iniettore;
- **impianto di comando e regolazione**
sensori, per esempio di temperatura, centralina e attuatori, come relè della pompa di alimentazione.

L'impianto di comando e regolazione opera secondo il principio IEO: Input, Elaborazione, Output.

Input. I sensori rilevano le informazioni e le inoltrano alla centralina sotto forma di segnali elettrici in tensione.

Elaborazione. La centralina elabora le informazioni reali contenute nei segnali in tensione e le confronta con valori di riferimento, salvati generalmente in diagrammi caratteristici. Dopo l'attività di calcolo, pilota gli attuatori corrispondenti.

Output. I rispettivi attuatori, per esempio gli iniettori, sono alimentati dalla centralina. Si raggiunge la condizione di esercizio del sistema desiderata.

Nel caso dell'iniezione di benzina a comando elettronico, la procedura è la seguente:

Nei sistemi con carburazione omogenea, il motore aspira una massa d'aria depurata dal filtro dell'aria e regolata dalla valvola a farfalla. La massa d'aria è rilevata elettronicamente da un sensore.

A partire dal **regime motore** e dalla **quantità d'aria (principali grandezze di comando)**, la centralina calcola sulla base di diagrammi caratteristici la **quantità di carburante da iniettare**.

Qualora si renda necessario un adeguamento della miscela a particolari condizioni di esercizio, per esempio in caso di avviamento a freddo, dei sensori aggiuntivi devono rilevare le circostanze (**grandezze di correzione**) che vengono nuovamente comunicate alla centralina sotto forma di segnali elettrici.

La centralina adegua il tempo di apertura degli iniettori a seconda delle variazioni nelle condizioni di esercizio e alimenta gli iniettori per il tempo di apertura calcolato.

Gli iniettori elettromagnetici si aprono e il carburante viene iniettato alla pressione definita dal regolatore di pressione. Quando la centralina interrompe l'alimentazione, gli iniettori sono chiusi dalle molle di chiusura e l'iniezione si conclude.

12

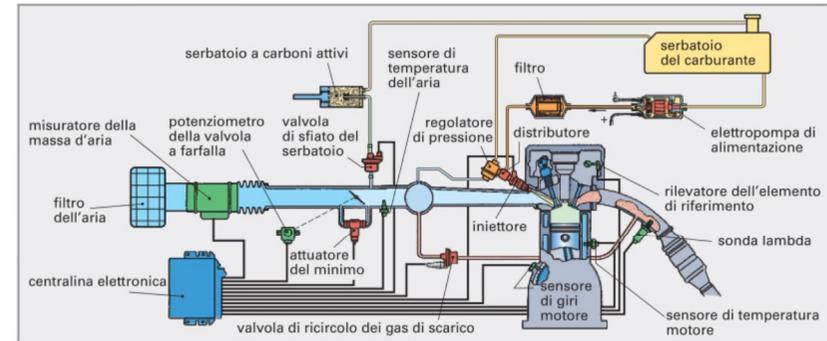


Figura 1: Struttura dell'impianto di iniezione di benzina a comando elettronico

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Qual è il compito dell'iniezione di benzina?
- 2 Quali sono le caratteristiche dell'iniezione indiretta e dell'iniezione diretta?
- 3 Descrivete l'iniezione intermittente e l'iniezione continua.
- 4 In cosa si differenzia l'iniezione simultanea da quella sequenziale?

- 5 Da quali elementi è costituito un impianto di iniezione di benzina a comando elettronico? Elencate i componenti.
- 6 Che cosa si intende per principali grandezze di comando nell'iniezione di benzina a comando elettronico?
- 7 Che cosa si intende per correzioni di grandezza nell'iniezione di benzina a comando elettronico?
- 8 Come modifica la centralina la quantità di iniezione nel caso dell'iniezione intermittente?

12.4.3 Rilevamento dei valori di funzionamento

Per pilotare correttamente gli attuatori presenti nell'impianto di iniezione, la centralina ha bisogno di informazioni provenienti da diversi sensori. Per la preparazione della quantità base di carburante da iniettare sono necessarie le informazioni del carico e del regime motore, che costituiscono le **principali grandezze di comando**. Per l'adeguamento della miscela alle varie condizioni di esercizio, sono necessari i segnali provenienti da altri sensori, definiti **grandezze di correzione**.

Principali grandezze di comando

Rilevamento del carico. Può avvenire tramite diversi sensori:

- misuratore della massa d'aria;
- misuratore della massa d'aria a filo caldo;
- misuratore della massa d'aria a film caldo;
- misuratore della massa d'aria a film caldo con rilevazione della corrente di ritorno;
- sensore di pressione nel collettore di aspirazione;
- potenziometro della valvola a farfalla.

Misuratore della massa d'aria (fig. 2). Contiene la farfalla fluttuante, la quale è sottoposta al carico di una molla a spirale. Durante l'aspirazione, il flusso d'aria agente sulla farfalla fluttuante genera una

controforza che vince la forza prodotta della molla a spirale. La farfalla fluttuante si posiziona di conseguenza con una determinata apertura angolare, che è trasposta su un potenziometro. In base alla caduta di tensione della resistenza, la centralina riconosce la posizione della farfalla fluttuante e calcola la quantità d'aria aspirata sulla base di curve caratteristiche salvate. Una valvola di compensazione, direttamente collegata alla farfalla fluttuante e sfruttando l'azione del cuscinetto d'aria presente nella camera di smorzamento, compensa le oscillazioni meccaniche provenienti dall'esterno.

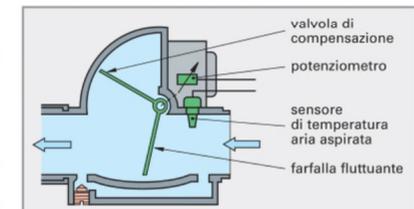


Figura 2: Misuratore della massa d'aria

Misuratore della massa d'aria a filo caldo (fig. 1, pag. 283). Un filo caldo ubicato nel collettore d'aspirazione funge da sensore. Attraverso la corrente

elettrica, il filo è mantenuto a una temperatura di 100 °C superiore alla temperatura dell'aria aspirata. A seconda delle diverse condizioni di guida, è aspirata una maggiore o una minore massa d'aria che raffredda il filo caldo. Il calore dissipato nell'aria deve essere compensato tramite la corrente di riscaldamento, il cui valore necessario è determinato dalla relativa tensione. Pertanto la corrente di riscaldamento e, quindi, la tensione necessaria per la corrente di riscaldamento sono il riferimento per la massa d'aria. La rilevazione della massa d'aria avviene circa 1000 volte al secondo. In caso di rottura del filo caldo, la centralina attiva una recovery e la vettura rimane in ordine di marcia con alcune limitazioni. Dato che il filo caldo è posizionato nel collettore d'aspirazione, è possibile che si formino dei depositi che potrebbero falsare il risultato della misurazione. Dopo ogni spegnimento del motore, il filo caldo è riscaldato per un breve periodo sino a 1000 °C tramite un segnale della centralina, in modo da eliminare ogni deposito.

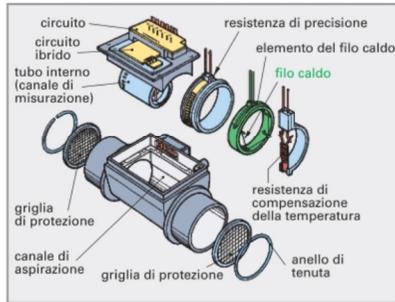


Figura 1: Misuratore della massa d'aria a filo caldo

Misuratore della massa d'aria a film caldo (fig. 2). Il sensore a film caldo è integrato in un canale di misurazione ubicato nel canale di aspirazione.

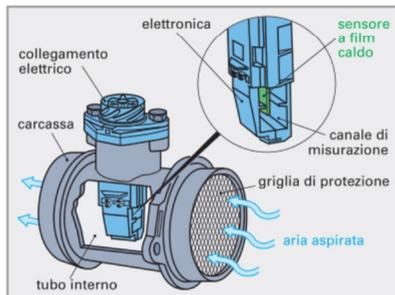


Figura 2: Misuratore della massa d'aria a film caldo

Il sensore si compone di tre resistenze elettriche (fig. 3):

- resistenza "film caldo" R_H (resistenza a film di platino);
 - resistenza "sensore" R_S ;
 - resistenza "temperatura" R_L (aria aspirata).
- Il collegamento elettrico a ponte è costituito da resistenze a strati applicate su di un sottile corpo ceramico.

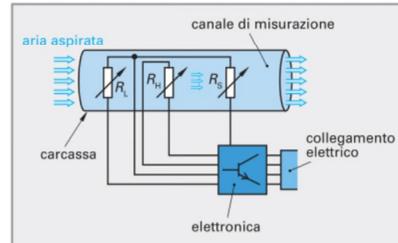


Figura 3: Collegamento a ponte del sensore a filo caldo

Mediante una tensione variabile, il circuito elettronico del misuratore della massa regola la temperatura della resistenza "film caldo" R_H in modo che essa sia di 160 °C superiore alla temperatura dell'aria aspirata, che è a sua volta misurata dalla resistenza "temperatura" R_L , mentre la temperatura della resistenza "film caldo" R_H è rilevata dalla resistenza "sensore" R_S . All'aumentare e al diminuire della portata della massa d'aria, la resistenza "film caldo" è raffreddata. Il circuito elettronico modifica, in funzione del valore della resistenza "sensore" R_S , la tensione applicata alla resistenza "film caldo" R_H in modo da raggiungere nuovamente la differenza di temperatura di 160 °C. Con questa tensione di regolazione, il circuito elettronico genera un segnale relativo al valore della massa d'aria aspirata (portata d'aria). Dato che il sensore è insensibile all'imbrattamento, non è necessario riscaldarlo, come, invece, avviene nel caso della misurazione della massa d'aria a filo caldo.

Misuratore della massa d'aria a film caldo con rilevazione della corrente di ritorno (fig. 1, pag. 284).

I misuratori della massa d'aria a film caldo con rilevazione della corrente di ritorno sono impiegati per ridurre gli errori generati dalla colonna d'aria pulsante presente nel collettore di aspirazione. Questi sensori impediscono che il risultato della rilevazione venga falsato dal flusso di ritorno. In questo modo, il dosaggio del carburante può avvenire in maniera corretta (errore max $\pm 0,5\%$).

I sensori contengono una zona calda che riscalda l'aria aspirata di passaggio. Per questo motivo, nella cella di misurazione $M2$ è rilevata una temperatura più elevata che nella cella di misurazione

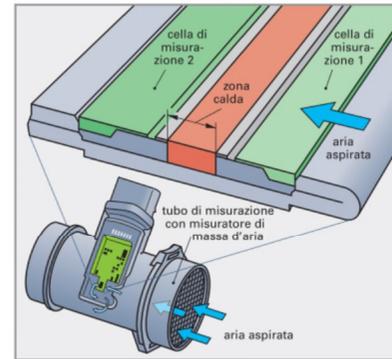


Figura 1: Formazione del segnale del misuratore della massa d'aria a film caldo

$M1$. Con il ritorno di aria dal lato motore, la cella di misurazione $M2$ si raffredda e il punto di misurazione $M1$ si riscalda. Entrambi i flussi, di aspirazione e di ritorno, influenzano le temperature della cella di misurazione. La differenza di temperatura ΔT è convertita nel circuito di elaborazione in una tensione, in base alla quale la centralina rileva la massa d'aria aspirata.

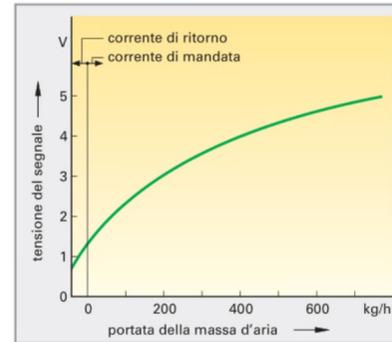


Figura 2: Curva caratteristica del misuratore della massa d'aria a film caldo con rilevazione della corrente di ritorno

Dal diagramma (fig. 2) emerge che il segnale di tensione oscilla a seconda del carico da 1 V circa (al minimo) a 5 V (a pieno carico).

Sensore di pressione nel collettore di aspirazione (fig. 3). Questo sensore ha il compito di rilevare la pressione nel collettore di aspirazione. Può essere fissato direttamente sul collettore di aspirazione o essere posizionato all'interno della centralina. In questo ultimo caso, è collegato tramite un tubo

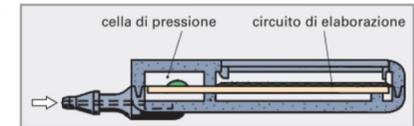


Figura 3: Sensore di pressione nel collettore di aspirazione

flessibile al collettore di aspirazione. Il sensore è suddiviso in una camera contenente il circuito di elaborazione e una cella di pressione con due elementi sensorici. Gli elementi sensorici si compongono di una membrana che racchiude una camera di pressione di riferimento con una determinata pressione interna. Le resistenze presenti sulla membrana cambiano di valore a seconda della tensione meccanica cui la membrana stessa è sottoposta dai cambiamenti di pressione.

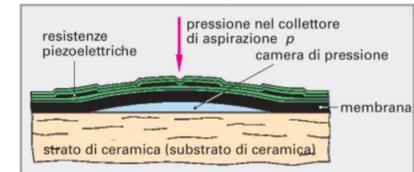


Figura 4: Cella sensore del sensore di pressione nel collettore di aspirazione

Il circuito di elaborazione ha i seguenti compiti:

- amplificare la variazione di tensione dovuta alla variazione della resistenza;
- compensare gli influssi della temperatura;
- creare una curva caratteristica il più lineare possibile.

In base alla variazione di tensione (fig. 5), è calcolata la quantità d'aria aspirata tramite la pressione nel collettore di aspirazione.

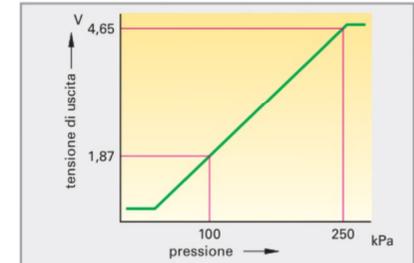


Figura 5: Curva caratteristica del sensore di pressione nel collettore di aspirazione

Potenzimetro della valvola a farfalla (fig. 1, pag. 285). Questo sensore ha il compito di rilevare la posizione della valvola a farfalla. Quando la valvo-

la a farfalla si apre, l'albero della valvola sposta i bracci del cursore che lambiscono il circuito delle resistenze. Modificando la caduta di tensione del circuito delle resistenze, la centralina riesce a regolare la posizione della valvola a farfalla. La quantità d'aria aspirata può essere determinata in base alla posizione della valvola a farfalla, unitamente al regime motore e alla temperatura dell'aria aspirata.

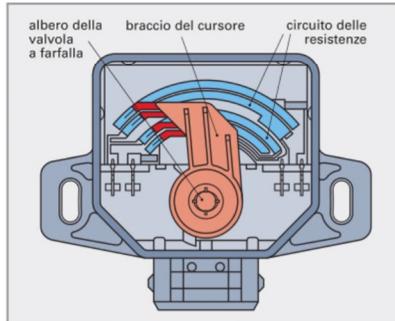


Figura 1: Potenziometro della valvola a farfalla

Se è utilizzato il segnale della valvola a farfalla come segnale di carico principale, si ricorre a potenziometri con doppio circuito di resistenza e due cursori. In questo modo, aumentano la precisione e la sicurezza del sistema. Le tensioni in diminuzione dei due potenziometri sono generalmente contrarie (fig. 2).

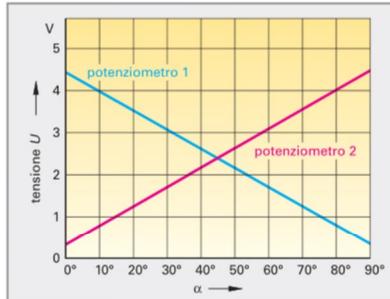


Figura 2: Tensioni del segnale nel caso di potenziometri doppi

Se il carico è rilevato da sensori diversi rispetto al potenziometro della valvola a farfalla, il potenziometro è utilizzato come sensore per la funzione dinamica (velocità di apertura della valvola a farfalla), per la rilevazione del carico motore (minimo, carico parziale, pieno carico) e come segnale di emergenza in caso di avaria del sensore di carico principale.

Nel corpo del sensore è spesso presente un interruttore aggiuntivo per la rilevazione della posizione del minimo.

Rilevazione del numero di giri: può avvenire tramite diversi sensori:

- sensore di giri induttivo;
- trasduttori nel distributore (con rotore a pale);
- trasduttori sull'albero a camme (con magneti);
- trasduttori sull'albero motore (ruota fonica a impulsi).

Sensore di giri induttivo (fig. 3). Sull'albero motore è posizionata una ruota fonica ferromagnetica. Un sensore di giri induttivo, che si compone di un'anima in ferro dolce con avvolgimento in rame (bobina del sensore) e di un magnete permanente, rileva la sequenza dei denti. Con la rotazione dell'albero motore i denti della ruota fonica generano delle variazioni di flusso magnetico nella bobina del sensore inducendo quindi una tensione alternata (fig. 4). La centralina calcola il regime motore in base alla frequenza della tensione alternata indotta.

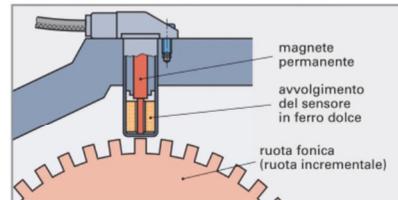


Figura 3: Sensore di giri induttivo con ruota fonica

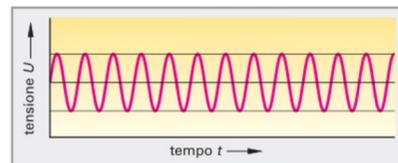


Figura 4: Segnale di giri

Se il sensore è preposto anche alla rilevazione della posizione dell'albero motore, sulla ruota fonica è previsto uno spazio vuoto più ampio come elemento di riferimento (fig. 5).

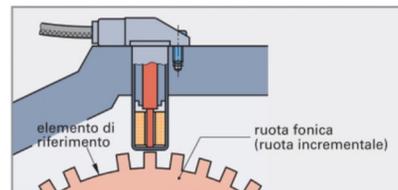


Figura 5: Regime e rilevatore dell'elemento di riferimento

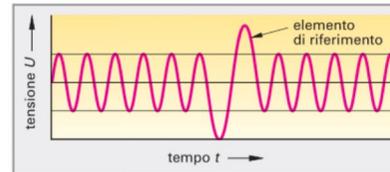


Figura 1: Segnale del regime motore con elemento di riferimento

Al passaggio dello spazio vuoto, in corrispondenza del sensore induttivo, è indotta una tensione elevata a causa della forte variazione del flusso magnetico (fig. 1). Questo impulso di tensione, inoltre, presenta una frequenza più bassa rispetto agli impulsi generati per la rilevazione del regime motore. L'impulso di tensione fornisce informazioni su una specifica posizione dell'albero motore. L'elemento di riferimento indica che il pistone del 1° cilindro, per esempio si trova a 108° prima del PMS.

I **trasduttori**, rispetto ai sensori di giri induttivi, hanno il vantaggio che la tensione del loro segnale è indipendente dal regime motore. In questo modo è possibile rilevare anche giri motore molto bassi. Il trasduttore a effetto Hall (fig. 2) rappresenta l'elemento principale di un sensore. Questo si compone di uno strato di materiale semi-conduttore attraversato dalla corrente di alimentazione I_A . Se è presente un campo magnetico (B) in posizione verticale rispetto allo strato di materiale semi-conduttore, gli elettroni liberi presenti nel semi-conduttore si accumulano da un lato per l'azione del campo magnetico. Subentra, quindi, una tensione di Hall U_H . L'entità della tensione di Hall generata dipende dall'intensità del campo magnetico.

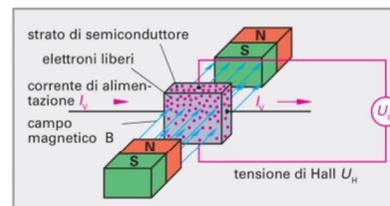


Figura 2: Trasduttore a effetto Hall

Il principio di Hall è applicato in svariati modi.

Trasduttore nel distributore con rotore a pale (fig. 3). Si compone di un trasduttore di Hall, un magnete permanente e un circuito integrato che amplifica la tensione di Hall e la trasforma in un segnale a onda quadra (tensione del trasduttore U_G). Il distributore del rail è dotato di un rotore a pale che oscilla tra il circuito integrato di Hall e la barra del magnete. Se una pala si posiziona tra il circuito in-

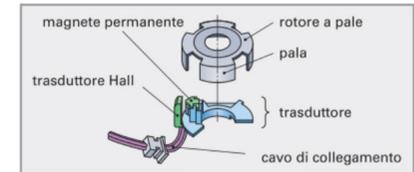


Figura 3: Trasduttore con rotore a pale

tegrato di Hall e il magnete permanente, il campo magnetico risulta schermato e la tensione di Hall U_H è pari a zero (fig. 4). Se il rotore a pale continua nella sua rotazione, il campo magnetico riesce a penetrare nel circuito integrato, generando la tensione di Hall. Dato che il numero di pale è salvato nella centralina, quest'ultima può calcolare il numero di giri motore in base al numero di cambi tensione.

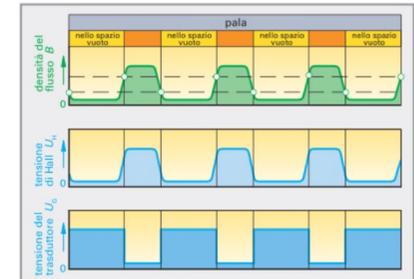


Figura 4: Andamento degli impulsi del trasduttore con rotore a pale

Trasduttore sull'albero a camme (fig. 5). Il sensore si compone del trasduttore Hall e del circuito integrato per l'elaborazione del segnale. Il campo magnetico, che serve per la creazione della tensione di Hall U_H , viene generato tramite una piastrina magnetica posizionata sull'albero a camme. Quando la piastrina magnetica si sposta per il movimento dell'albero a camme, passando di fronte al trasduttore, si genera una tensione di Hall U_H .

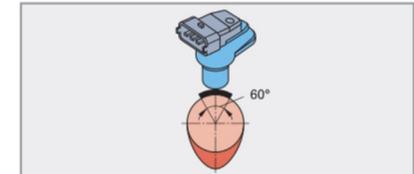


Figura 5: Trasduttore sull'albero a camme

Il segnale (fig. 1, pag. 287) di questo trasduttore è utilizzato per il calcolo del regime motore solo

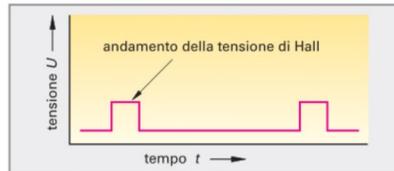


Figura 1: Tensione di Hall rilevata dal trasduttore sull'albero a camme

come recovery in caso di avaria del sensore di giri motore. Se sono impiegate bobine a scintilla singola oppure in caso di iniezione elettronica selettiva, c'è bisogno della definizione univoca del PMS in fase di accensione del primo cilindro per pilotare la bobina corretta e/o l'iniettore corretto. A tale scopo, i segnali del sensore giri motore posizionato sull'albero motore e il segnale del sensore sull'albero a camme sono combinati (fig. 2). Quando i riferimenti del sensore PMS e del sensore giri motore combaciano, il PMS successivo del primo cilindro è il PMS in fase di accensione. Se risulta visibile solo il riferimento del sensore giri motore, il PMS successivo si trova tra la fase di scarico e la fase di aspirazione.

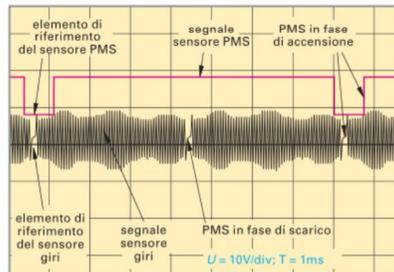


Figura 2: Determinazione del PMS in fase di accensione

Trasduttore sull'albero motore con ruota fonica a impulsi. Questo sensore si compone di due trasduttori Hall, un magnete permanente e un dispositivo elettronico di elaborazione, che elabora le tensioni di Hall di entrambi i generatori e le amplifica, determinando la tensione del trasduttore. È posizionato sull'albero motore come il sensore di giri motore induttivo e rileva la ruota fonica che si configura come una pala forata. Quando una pala passa di fronte al sensore, il campo magnetico è amplificato diversamente a seconda della posizione della pala. I campi magnetici che agiscono sui generatori di Hall hanno intensità diverse per un periodo di tempo limitato, generando così tensioni di Hall diverse (fig. 3). A partire dalle tensioni di Hall generate U_H , il circuito di elaborazione calcola la tensione del trasduttore U_G (fig. 4). Similmente al sensore di

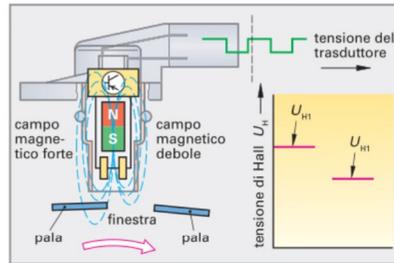


Figura 3: Variazione del campo magnetico con pala forata

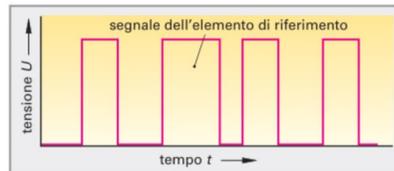


Figura 4: Tensione del trasduttore U_G

giri motore induttivo, anche qui è possibile creare un segnale di riferimento attraverso una maggior apertura della pala forata. Il segnale del trasduttore sull'albero motore, così come il segnale di un sensore giri motore induttivo, può essere combinato al trasduttore sull'albero a camme per determinare il PMS in fase di accensione.

Grandezze di correzione

Per la rilevazione delle grandezze di correzione necessarie, si utilizzano:

- sensori della temperatura (NTC), per esempio, per temperatura motore, temperatura aria aspirata;
- sensori di pressione (piezosensori) per esempio, per pressione ambiente, pressione nel collettore di aspirazione;
- sonde lambda (cfr. pag. 343).

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sensori sono impiegati per la rilevazione del carico?
- 2 Quali segnali creano i rispettivi sensori?
- 3 Quali sensori sono impiegati per la rilevazione del regime motore?
- 4 Quali segnali sono creati dai vari sensori?
- 5 Nel caso dell'iniezione selettiva, come fa la centralina a riconoscere l'iniettore che deve essere pilotato?
- 6 Quali sensori sono utilizzati principalmente per la rilevazione delle grandezze di correzione?
- 7 Per quale motivo sono utilizzati prevalentemente i sensori a effetto Hall rispetto ai sensori induttivi?

12.4.4 Iniezione centrale

Nell'iniezione centrale, il carburante affluisce a tutti i cilindri grazie a un iniettore in posizione centrale.

I sistemi di iniezione centrale sono sistemi per motori a benzina con comando elettronico dotati di un unico iniettore elettromagnetico (SPI = Injection Single Point). L'iniettore è aperto dalla centralina a ogni ciclo di lavoro in base al numero di cilindri del motore (vedi anche Iniezione indiretta, Iniezione Single Point). L'iniezione del carburante avviene davanti alla valvola a farfalla.

12.4.4.1 Sottocomponenti dell'iniezione centrale

Impianto di aspirazione. L'aria aspirata e depurata dal filtro attraversa l'impianto di iniezione. Qui il sensore dell'aria aspirata rileva la temperatura e trasmette il valore alla centralina sotto forma di una tensione elettrica. L'attuatore della valvola a farfalla, che è sempre installato all'interno dell'impianto di iniezione, regola la quantità di aria necessaria al minimo, in modo tale da mantenere un regime del minimo regolare. Sempre davanti alla valvola a farfalla avviene l'iniezione del carburante nell'aria iniettata (carburazione esterna). La miscela, regolata nella quantità dalla valvola a farfalla, attraversa il collettore di aspirazione grazie alla depressione presente nei cilindri. Nei motori freddi, per contrastare un'eccessiva formazione di condensa lungo le pareti del collettore di aspirazione, le pareti

stesse e/o la miscela aspirata sono riscaldate. La miscela arriva quindi nel cilindro passando per gli iniettori aperti.

Impianto di alimentazione. Il carburante è convogliato, tramite una pompa elettrica, dal serbatoio all'impianto di iniezione, passando attraverso un filtro. Il regolatore di pressione presente nel tubo di ritorno mantiene la pressione del carburante costante, approssimativamente a 1 bar (impianto a bassa pressione). Quando l'iniettore elettromagnetico viene alimentato, il carburante davanti alla valvola a farfalla è iniettato nell'aria aspirata.

Impianto di rigenerazione (cfr. pag. 273). Gli idrocarburi immagazzinati temporaneamente nel serbatoio a carboni attivi devono essere ricondotti nella camera di combustione a seconda delle condizioni di esercizio, per esempio, a carico parziale. Per questo motivo, la valvola di rigenerazione viene pilotata dalla centralina affinché l'aria e gli idrocarburi possano essere aspirati tramite la depressione presente nel collettore di aspirazione.

Rilevamento dei dati di funzionamento. Le informazioni principali sulle condizioni di esercizio del motore sono l'angolo della valvola a farfalla α e il regime motore n (principali grandezze di comando, sistema $\alpha - n$). A partire da tali informazioni, la centralina può calcolare la quantità d'iniezione di base e, quindi, anche il tempo d'iniezione di base. Per determinare la quantità precisa di carburante, la centralina necessita di ulteriori informazioni quali, per esempio, la temperatura dell'aria, la temperatura del motore e la composizione della miscela, che vengono comunicate tramite la sonda lambda.

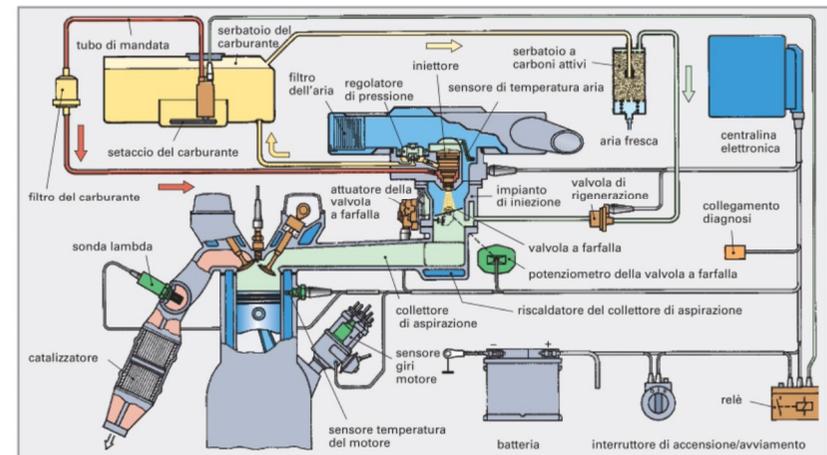


Figura 1: Iniezione centrale

12.4.4.2 Componenti dell'iniezione centrale

L'impianto di iniezione (fig. 1) si compone di:

- impianto idraulico con tubo di mandata e di ritorno, iniettore, regolatore di pressione, sensore di temperatura aria;
- unità della valvola a farfalla con valvola a farfalla, potenziometro e attuatore della valvola a farfalla.

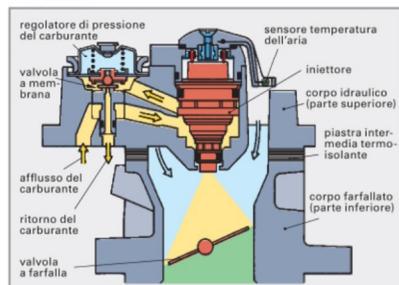


Figura 1: Impianto di iniezione

Regolatore della pressione del carburante (fig. 1). Mantiene la pressione nel sistema costante a 1 bar. La quantità di carburante iniettata dipende quindi solo dalla durata di apertura dell'iniettore. Se la pressione della pompa di alimentazione supera la pressione di sistema, la valvola a membrana caricata dalla molla si apre e il carburante rifluisce nel serbatoio. Prima di raggiungere il regolatore di pressione, il carburante circola all'interno dell'iniettore, raffreddandolo e garantendo un buon comportamento nell'avviamento a caldo.

Motorino del minimo (fig. 2). Ha lo scopo di regolare il funzionamento al minimo, mantenendolo a un basso livello di regime. Stabilizza il numero di giri del minimo (per esempio, durante l'accensione del condizionatore). La centralina fornisce al motore a corrente continua il segnale di pilotaggio della valvola a farfalla a seconda del regime e della temperatura del motore. Il piattello di azionamento che agisce sulla valvola a farfalla si distende o si comprime per mezzo della filettatura.

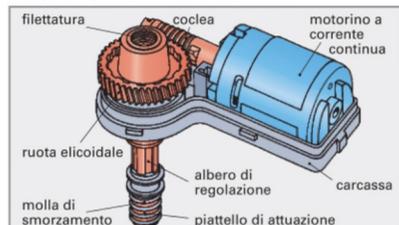


Figura 2: Attuatore della valvola a farfalla

Iniettore centrale (fig. 3). È composto da un alloggiamento in cui è collocato un elemento iniettore a comando elettromagnetico e i rispettivi collegamenti elettrici. L'elemento iniettore è composto, a sua volta, da un corpo contenente l'ago dell'iniettore, con il rispettivo indotto, e l'avvolgimento dell'elettromagnete. La molla elicoidale di chiusura, con l'aiuto della pressione di alimentazione, spinge l'ago dell'iniettore contro la sua sede di tenuta. Eccitando l'avvolgimento dell'elettromagnete, l'ago dell'iniettore si solleva dalla sua sede di circa 0,06 mm, consentendo al carburante di fuoriuscire dalla fessura circolare. La forma del pernetto, posto sull'ago dell'iniettore, garantisce una buona polverizzazione e imprime al getto una forma conica. L'apertura dell'iniettore avviene in corrispondenza del segnale di accensione.

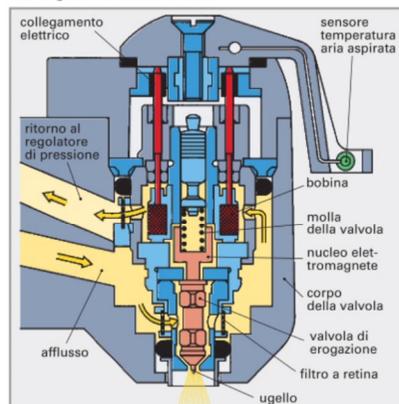


Figura 3: Iniettore centrale

12.4.4.3 Comando elettronico dell'iniezione centrale

L'impianto di iniezione centrale è pilotato secondo il principio IEO. Quindi le diverse condizioni di esercizio sono rilevate dai sensori e trasmesse dalla centralina sotto forma di segnali elettrici. In base alle diverse curve caratteristiche salvate, la centralina calcola i valori di output necessari e pilota i relativi attuatori tramite segnali elettrici (vedi lo schema a blocchi, fig. 1, pag. 290 e lo schema elettrico, fig. 1, pag. 291).

La centralina dell'iniezione centrale svolge le seguenti funzioni: arricchimento della miscela in fase di avviamento, riscaldamento, accelerazione, pieno carico, decelerazione in cut-off, controllo delle sonde lambda, gestione della partenza a motore caldo, limitazione di giri, regolazione adattativa del regime al minimo, pilotaggio del relè della pompa di alimentazione, comando della valvola di rigene-

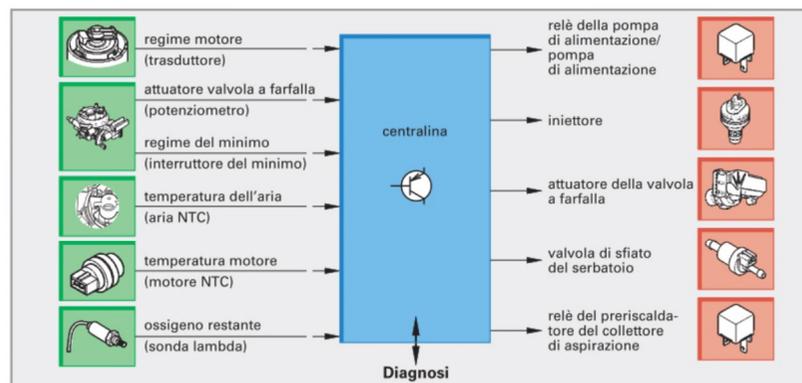


Figura 1: Schema a blocchi dell'iniezione centrale

razione, funzione di recovery e autodiagnosi.

Regime motore. Il regime motore è comunicato alla centralina da un trasduttore montato sul distributore. Unitamente alla posizione della valvola a farfalla, la centralina calcola la durata dell'alimentazione dell'iniettore e la quantità di carburante da iniettare. In caso di avaria del trasduttore B5, il funzionamento del motore è inibito perché la centralina non può più calcolare né la quantità di iniezione necessaria né il numero di iniezioni. B5 può essere verificato in corrispondenza del PIN 26 (morsetto 7), del PIN 27 (morsetto 8h) della centralina e del morsetto 31 (morsetto 31d).

Posizione della valvola a farfalla. La posizione della farfalla è rilevata dal potenziometro della valvola a farfalla presente nell'impianto di iniezione ed è comunicata alla centralina sotto forma di tensioni elettriche. A partire dal valore delle tensioni, la centralina calcola il grado di apertura e la quantità d'aria aspirata insieme al regime motore in base a diagrammi caratteristici salvati in memoria. Se le tensioni raggiungono valori estremi, la centralina riconosce una condizione di pieno carico: è interrotta l'attività di regolazione delle sonde lambda e la miscela è arricchita. A partire dalle variazioni di tensione per unità di tempo, la centralina può rilevare l'intenzione di accelerare del conducente. Se un valore salvato in centralina è superato, si interrompe l'attività delle sonde lambda e la miscela è arricchita. In caso di avaria del trasduttore B3, è possibile che il veicolo continui a funzionare in recovery grazie all'attività delle sonde lambda. La verifica di B3 va eseguita ai PIN 7, PIN 8, PIN 18 della centralina e al morsetto 31M.

Posizione del regime di minimo. Questa informazione è fornita alla centralina dall'interruttore del minimo Y2, che è posizionato sul motorino del mi-

nimo. Se la valvola a farfalla si trova nella posizione di regime minimo e/o la decelerazione in cut-off. In caso di assenza del segnale, non risultano possibili né la regolazione del minimo né la decelerazione in cut-off perché non è più riconosciuta la posizione di minimo. La verifica del componente Y2 va eseguita al PIN 3 e al morsetto 31M.

Temperatura dell'aria aspirata. La temperatura è rilevata da un NTC B1 montato nell'impianto di iniezione. La caduta di tensione sulla resistenza diminuisce a fronte di un aumento della temperatura. Il segnale è necessario affinché possa essere iniettato più carburante (sino al 20%) in caso di basse temperature. Eventuali resistenze di contatto elevate, per esempio per la presenza di corrosione nei connettori, possono comportare una carburazione errata. In caso di assenza totale del segnale a causa di interruzione del cavo o di cortocircuito, la centralina può utilizzare un valore sostitutivo salvato in memoria. Il segnale di B1 può essere verificato al PIN 14 e al morsetto 31.

Temperatura del motore. Il segnale del sensore di temperatura motore (NTC) è necessario per adeguare (grandezza di correzione) la quantità di carburante alla temperatura del motore in caso di motore freddo. Aumentando la durata di iniezione sino al 70%, si impedisce che la miscela diventi troppo magra a causa delle perdite di condensa nel collettore di aspirazione e nel cilindro. Come nel caso del sensore di temperatura dell'aria, anche per questo sensore una resistenza di contatto in un connettore può comportare un'errata carburazione. In caso di interruzione del cavo o di cortocircuito, la centralina può utilizzare un valore sostitutivo salvato in memoria. La verifica del componente B2 va eseguita al PIN 2 e al morsetto 31M.

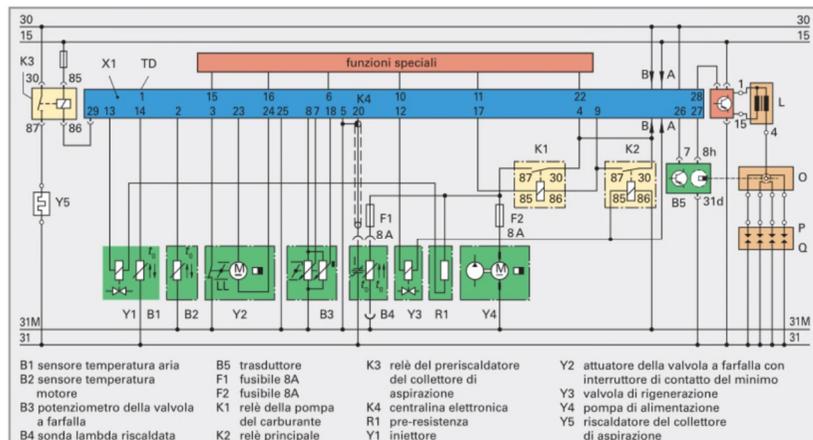


Figura 1: Schema elettrico dell'iniezione centrale

Relè della pompa di alimentazione. Il relè ha il compito di alimentare l'elettropompa di alimentazione. Quando la centralina commuta il PIN 17 a massa, si attiva la corrente di azionamento del relè. La corrente di lavoro per la pompa di alimentazione fluisce, quindi, dal morsetto 30 alla pompa. Se per tre secondi la centralina non riceve alcun segnale dal sensore di giri motore, interrompe la corrente di comando del relè e la pompa si spegne. In questo modo si dovrebbe evitare che, a motore fermo e iniettori aperti, il carburante affluisca nel motore o nell'ambiente esterno (spegnimento di sicurezza).

Iniettore. Tramite l'iniettore, il carburante è polverizzato e iniettato, ogni due giri dell'albero motore, a seconda del numero di cilindri, davanti alla valvola a farfalla. L'iniettore si apre quando:

- il relè della pompa di alimentazione K1 è chiuso e la corrente fluisce dal morsetto 30 attraverso il relè e la pre-resistenza sino all'iniettore;
 - la centralina commuta il PIN 13 a massa.
- La durata dell'alimentazione di corrente determina la quantità di carburante iniettata.

Attuatore della valvola a farfalla. Grazie a questo attuatore, la centralina regola il regime del minimo affinché sia mantenuto un valore di riferimento a seconda della temperatura del motore. Quando la centralina riconosce la posizione del minimo, comanda l'attuatore della valvola a farfalla tramite il PIN 23 e il PIN 24 in modo che la valvola a farfalla sia ulteriormente aperta o chiusa in base al valore reale. Per una corretta gestione del regime del minimo, la centralina necessita dei segnali del trasduttore B5, del sensore di temperatura motore B2 e dell'interruttore di contatto del minimo posi-

zionato nell'attuatore della valvola a farfalla Y2.

Riscaldamento del collettore di aspirazione. Ha il compito di riscaldare le pareti del collettore di aspirazione quando il motore è freddo. In questo modo, si riduce e/o si impedisce la formazione di condensa di carburante sulle pareti fredde del collettore. Quando la centralina commuta il PIN 29 a massa, il relè si chiude per arrivare al riscaldatore del collettore. La corrente fluisce così dal morsetto 30, passando per il relè K3, sino ad attivare il riscaldatore (segnale positivo di alimentazione). Il riscaldatore riceve il segnale di massa dal morsetto 31.

12.4.4.4 Diagnosi

Mentre nei sistemi più vecchi gli errori salvati in memoria venivano letti tramite un codice di lampeggio, nei sistemi più moderni gli errori salvati possono essere letti tramite dei dispositivi diagnostici (tester motore). È inoltre possibile fare una diagnosi dell'attuatore della valvola a farfalla, del relè per il riscaldatore del collettore di aspirazione e per la valvola di rigenerazione.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Descrivete le caratteristiche principali dell'iniezione centrale.
- 2 Descrivete l'impianto di alimentazione dell'iniezione centrale.
- 3 Di quali elementi si compone l'impianto di iniezione? Descrivetene i compiti e il funzionamento.
- 4 Di quali sensori necessita l'iniezione centrale? Quali grandezze vengono rilevate dai sensori?
- 5 Quali attuatori vengono pilotati dalla centralina?
- 6 Descrivete la funzione dell'attuatore della valvola a farfalla.

12.4.5 LH-Motronic

Il sistema di iniezione della LH-Motronic è un sistema d'iniezione a comando elettronico con iniezione multi point in cui la massa d'aria è utilizzata come principale grandezza di comando.

La LH-Motronic rappresenta un'evoluzione della L-Jetronic. Gli iniettori elettromagnetici sono comandati in maniera sequenziale. L'iniezione avviene nel collettore di aspirazione poco prima delle valvole di aspirazione, che all'inizio dell'iniezione sono ancora chiuse. Come principali grandezze di comando vengono utilizzati il regime motore e la massa d'aria aspirata (sistema m/n). Tali grandezze vengono rilevate da un misuratore di massa d'aria a filo caldo o da un misuratore della massa d'aria a film caldo. Tali misuratori sono un elemento caratteristico della LH-Motronic visibili dall'esterno.

12.4.5.1 Sottocomponenti della LH-Jetronic

Impianto di aspirazione. L'aria depurata dal filtro e aspirata dal motore fluisce nel collettore d'aspirazione. Qui la massa d'aria è rilevata dal misuratore e comunicata alla centralina sotto forma di un segnale di tensione. Come sensore di temperatura dell'aria è utilizzato un NTC, che può essere integrato nel misuratore della massa d'aria stesso. La caduta di tensione della resistenza, dipendente dalla temperatura, è indicativa della temperatura dell'aria aspirata.

Impianto di alimentazione. Nella LH-Jetronic sono principalmente utilizzati sistemi a doppio tubo. Un'elettropompa di alimentazione, che può essere montata nel serbatoio (pompa a immersione) oppure nel sottosocca del veicolo (pompa posta sul tubo di alimentazione), trasporta il carburante

dal serbatoio al distributore, passando per un filtro del carburante. Tramite il distributore, il carburante raggiunge tutti gli iniettori. Al termine del distributore è montato il regolatore di pressione, il cui compito consiste nel mantenere la pressione differenziale costante a circa 3,5 bar. Dal regolatore di pressione, il carburante in eccesso ritorna nel serbatoio.

Impianto di rigenerazione. Gli idrocarburi immagazzinati temporaneamente nel serbatoio a carboni attivi devono essere ricondotti nella camera di combustione, a seconda delle condizioni di esercizio, per esempio a carico parziale. Per questo motivo, la valvola di rigenerazione (valvola di sfiato del serbatoio) è pilotata dalla centralina affinché l'aria e gli idrocarburi possano essere aspirati tramite la depressione presente nel collettore di aspirazione.

Ricircolo dei gas di scarico. Per contenere le emissioni nocive, è possibile utilizzare un impianto di ricircolo dei gas di scarico.

Regolazione del regime del minimo

Ha il compito di mantenere il regime motore costante a un valore di riferimento dipendente dalla temperatura del motore quando la valvola a farfalla è chiusa.

Le resistenze interne di un motore freddo sono più elevate rispetto a quelle presenti in un motore caldo a causa della viscosità dell'olio motore e delle maggiori frizioni. Per contrastare tali resistenze e avere un regime del minimo stabile, il motore deve erogare più potenza ricorrendo a una maggiore quantità di miscela. Inoltre, è necessario compensare le oscillazioni del regime del minimo dovute a una rete di bordo carica oppure al compressore del climatizzatore in funzione.

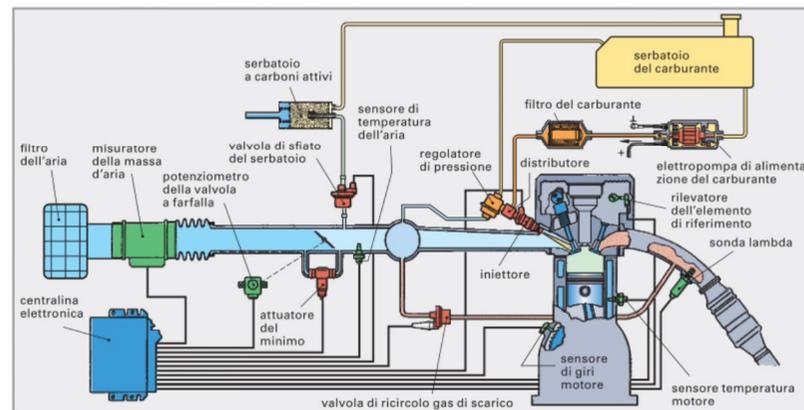


Figura 1: LH-Jetronic

Per la regolazione del regime del minimo, la centralina necessita dei seguenti segnali:

- sensore giri motore (regime reale);
- sensore temperatura motore (definizione del regime di riferimento).

Per la regolazione del regime, è impiegato uno dei seguenti attuatori.

Attuatore del minimo (fig. 1). Consente a una quantità aggiuntiva di aria di raggiungere un bypass esterno alla valvola a farfalla chiusa. La centralina comanda l'attuatore tramite un segnale in PWM (Pulse Width Modulation) che provvede a modulare l'apertura del canale d'aria.

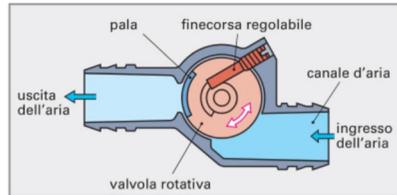


Figura 1: Attuatore del minimo (attuatore rotativo)

Attuatore della valvola a farfalla (fig. 2). I componenti di questa unità sono un motorino elettrico, un cambio e una valvola a farfalla. Al minimo, la centralina pilota il motorino elettrico in modo tale che la valvola a farfalla si apra e si chiude a seconda del regime reale, al fine di mantenere costantemente il regime di riferimento predefinito.

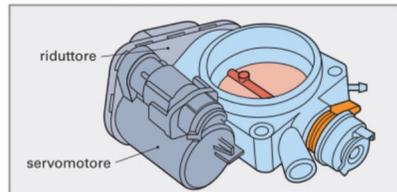


Figura 2: Attuatore della valvola a farfalla

Decelerazione in cut-off

Quando è attiva la decelerazione in cut-off, l'iniezione di carburante è inibita.

Se il motore raggiunge un regime elevato con la valvola a farfalla chiusa (in fase di rilascio, per esempio, durante una discesa in un tratto di montagna), la decelerazione in cut-off impedisce che il carburante venga iniettato. Quando si apre la valvola a farfalla, oppure quando il regime motore scende sotto un valore salvato, per esempio 1200 giri/min, l'iniezione del carburante riprende.

Per la decelerazione in cut-off, la centralina necessita delle seguenti informazioni:

- posizione della valvola a farfalla comunicata dall'interruttore oppure dal potenziometro della valvola a farfalla;
- regime motore rilevato dal sensore giri motore.

Arricchimento della miscela in accelerazione e pieno carico

La miscela viene arricchita per ottenere la massima erogazione di potenza da parte del motore.

Nei motori con catalizzatori a tre vie si cerca di mantenere il coefficiente $\lambda = 1$, per quanto possibile, al fine di rispettare i limiti previsti dalle normative sulle emissioni di gas di scarico. Per ottenere la massima prestazione del motore, la miscela aspirata è arricchita, a seconda dei motori, sino a un valore lambda che oscilla tra 0,85 e 0,95. A tal fine deve essere interrotto il pilotaggio delle sonde lambda. L'arricchimento inizia quando il potenziometro della valvola a farfalla comunica alla centralina una situazione di pieno carico oppure quando la variazione di tensione per unità di tempo in corrispondenza del potenziometro supera un determinato valore salvato in memoria. I motori estremamente potenti non hanno necessariamente bisogno di un arricchimento a pieno carico.

Correzione altimetrica

Nei motori privi di turbo si può fare a meno di una correzione altimetrica perché il misuratore della massa d'aria prende in considerazione una riduzione della densità dell'aria, per esempio in caso di altitudine elevata.

Limitazione del regime motore

Ha il compito di impedire un fuori giri del motore.

Se la centralina riceve un segnale dal sensore di giri motore da cui si evince che il regime massimo salvato in memoria è stato raggiunto, entra in funzione la limitazione del regime motore. Per limitare la potenza, il regime massimo e quindi anche la velocità massima, il punto di accensione è ritardato. Solo in alcuni casi eccezionali viene interrotta l'iniezione del carburante.

La LH-Jetronic come Motronic

Tutti gli impianti LH-Jetronic (impianti di iniezione) sono generalmente utilizzati come Motronic. In questo modo, sia la carburazione, sia l'accensione della miscela aria-carburante sono comandate da un'unica centralina. A seconda delle esigenze e del modello di costruzione, è possibile combinare diversi impianti di accensione con la LH-Jetronic. Grazie all'impiego di sistemi Motronic, è possibile ridurre l'attività di progettazione, aumentare la sicurezza di funzionamento e migliorare l'efficacia.

12.4.5.2 Gli iniettori della LH-Motronic

Nella LH-Jetronic, a ogni cilindro è assegnato un iniettore a comando elettromagnetico (fig. 1), a partire dal quale il carburante è iniettato in maniera sequenziale nel collettore di aspirazione.

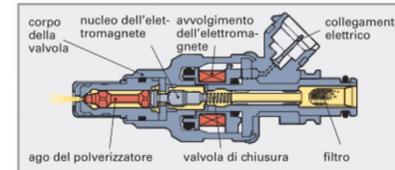


Figura 1: Iniettore

Funzione. Se la centralina alimenta l'avvolgimento dell'elettromagnete dell'iniettore, nasce un campo elettromagnetico che attira il nucleo del magnete. L'ago del polverizzatore si alza e il carburante è iniettato. A seconda dell'iniettore, la corsa dell'ago va da 0,05 a 0,1 mm. Quando la centralina interrompe l'alimentazione, a seconda delle condizioni di esercizio (dopo 1,5-18 ms), il campo elettromagnetico sparisce, la molla di chiusura spinge l'ago del polverizzatore nella propria sede e ha così termine l'iniezione. La massa del carburante iniettato dipende dai seguenti fattori:

- durata di apertura dell'iniettore;
- quantità di iniezione per unità di tempo (costante dell'iniettore);
- densità del carburante;
- pressione del carburante.

Alimentazione degli iniettori. Gli iniettori sono pilotati dalla centralina con un segnale di alimentazione negativo. Con un collegamento a massa, la centralina risulta protetta da eventuali danni causati da un cortocircuito. L'alimentazione positiva arriva dal morsetto 15 tramite un relè controllato dalla centralina. Attraverso la rappresentazione grafica del processo di iniezione tramite l'oscilloscopio (fig. 2), è possibile rilevare la durata di apertura

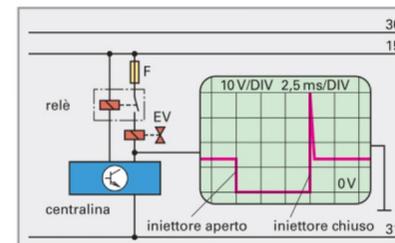


Figura 2: Alimentazione dell'iniettore

dell'iniettore. Il picco di tensione durante la fase di chiusura è dovuto all'induzione di spegnimento dell'avvolgimento dell'elettromagnete.

Tipologie. Nella LH-Motronic sono impiegate diverse tipologie di iniettori per i motori con tecnologia a due o più iniettori. Questi iniettori si differenziano per la forma assunta dal getto di carburante e per l'angolo con il quale il carburante è iniettato dal polverizzatore (fig. 3).

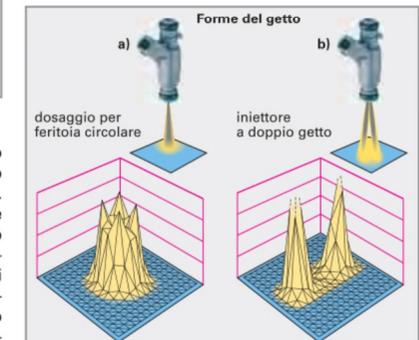


Figura 3: Iniettori con tecnologia a due valvole (a) o più valvole (b)

Per ottenere una polverizzazione più fine del carburante e per una migliore miscelazione con l'aria, sono utilizzati degli iniettori a camicia d'aria (fig. 4). A tal fine, viene prelevata dell'aria dalla valvola a farfalla che è poi trasportata all'iniettore tramite un tubo. Nel traferro stretto dell'iniettore, l'aria viene fortemente accelerata dalla differenza di pressione presente nel collettore di aspirazione in carico parziale. L'aria che fuoriesce a velocità elevata è miscelata al carburante iniettato, che risulta così polverizzato.

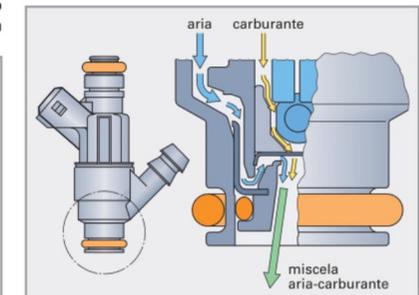


Figura 4: Iniettori a camicia d'aria

Se il carburante arriva agli iniettori tramite il distributore, il carburante è alimentato dall'alto (in inglese "top-feed"). Un lato dell'iniettore è montato nel distributore, l'altro è montato nel collettore di aspirazione; entrambi sono sigillati da un o-ring. Per contenere gli ingombri in altezza, spesso gli iniettori sono integrati in moduli portainiettori. In questo caso si utilizzano iniettori definiti bottom-feed (dall'inglese = alimentazione dal basso). L'afflusso di carburante avviene lateralmente nel caso di questi iniettori che garantiscono un buon raffreddamento del carburante e un buon comportamento nell'avviamento a caldo.

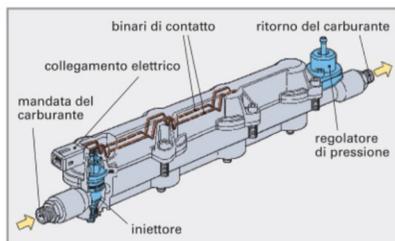


Figura 1: Modulo porta-iniettori con iniettori bottom-feed

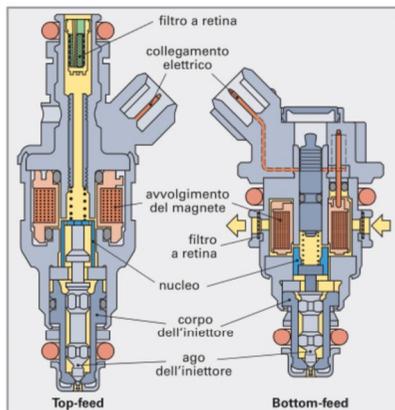


Figura 2: Iniettori top-feed e bottom-feed

12.4.5.3 Comando elettronico della LH-Jetronic

Lo schema a blocchi della pag. 296 e lo schema elettrico della pag. 297 mostrano il sistema di comando elettronico della LH-Motronic in maniera semplificata, dove vengono utilizzati i seguenti sensori e attuatori.

Misuratore di massa d'aria a film caldo B3. Rileva la massa di aria aspirata e la comunica, sotto forma di una segnale di tensione, alla centralina, che utilizza tale informazione, unitamente al regime motore, per calcolare la quantità di iniezione di base. In caso di avaria del sensore, il sistema può creare un segnale sostitutivo a partire dalla posizione della valvola a farfalla. La vettura rimane in ordine di marcia con alcune limitazioni (recovery). Il misuratore della massa d'aria riceve un segnale di tensione dal PIN 10 ed è collegata a massa tramite il morsetto 31. Il segnale di tensione comunicato alla centralina può essere rilevato ai PIN 10 e 12.

Sensore di giri motore B1. Il suo segnale, unitamente a quello del misuratore della massa d'aria, serve in primo luogo a calcolare la quantità di iniezione di base. Sono utilizzati dei sensori di giri motore induttivi che sono posizionati nella zona dell'albero motore e che lambiscono una ruota fonica specifica. Questi sensori forniscono, nella maggior parte dei casi, anche un elemento di riferimento, che è necessario per la determinazione del PMS preciso del primo cilindro. In caso di avaria del sensore, il motore non può funzionare. Questo segnale è necessario anche per la regolazione del regime del minimo, il cut-off e la limitazione dei giri motore. Può essere misurato con un oscilloscopio al PIN 6 e al PIN 7.

Potenziometro della valvola a farfalla B4. Si trova sulla valvola a farfalla e serve per rilevarne la posizione e la sua velocità di apertura. L'interruttore del minimo integrato segnala alla centralina che la valvola a farfalla è chiusa. In caso di avaria del sensore, è utilizzato un valore sostitutivo salvato in centralina per il regime del minimo. In questo caso, il regime del minimo si innalza. La regolazione del regime del minimo, il cut-off e l'arricchimento (a pieno carico e in accelerazione) non sono più possibili. Il segnale del potenziometro può essere rilevato al PIN 13 e 14 e/o al PIN 12. L'interruttore della valvola a farfalla viene verificato al PIN 15 verso massa (morsetto 31).

Alcuni sistemi ricorrono per una maggiore sicurezza e precisione, soprattutto in caso di impiego dell'attuatore della valvola a farfalla, a un doppio potenziometro.

Sensore di temperatura dell'aria aspirata B7. Si tratta di un NTC che ha il compito di rilevare la temperatura dell'aria aspirata. È posizionato nel collettore di aspirazione. La centralina ha bisogno del suo segnale per adeguare la quantità di carburante. In caso di aria molto fredda, la durata dell'iniezione può essere aumentata sino al 20%. Se il segnale non è disponibile, il sistema può utilizzare un valore sostitutivo salvato in memoria. La resistenza del sensore può essere verificata tra il PIN 18 e il PIN 19.

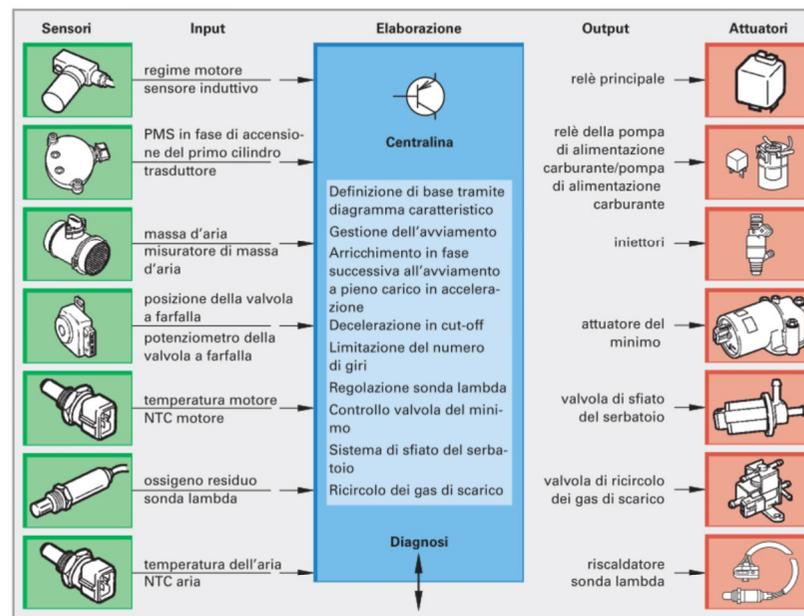


Figura 1: Sensori e attuatori della LH-Jetronic nello schema a blocchi

Sensore di temperatura del motore B5. Questa NTC rileva la temperatura del motore. A seconda della caduta di tensione sulla resistenza, la centralina motore adatta la quantità di iniezione alle condizioni di esercizio in relazione alla temperatura. A motore freddo, la durata di iniezione aumenta sino al 70%. A motore freddo, si modificano anche il punto di accensione, il regime di minimo, il ricircolo dei gas di scarico e la regolazione del battito. In caso di interruzione del segnale oppure di cortocircuito, la centralina può utilizzare un valore sostitutivo. Un eventuale aumento del valore di una resistenza su un connettore non viene tuttavia rilevato. Questo errore comporta un arricchimento della miscela e, quindi, maggiori emissioni di CO. La resistenza del sensore NTC può essere verificata sul connettore della centralina tra il PIN 12 e il 16.

Rilevatore dell'elemento di riferimento B2. Per identificare in maniera chiara il PMS in fase di accensione, serve il segnale del rilevatore dell'elemento di riferimento sull'albero motore, nonché il segnale del trasduttore montato sull'albero a camme. Entrambi i segnali sono utilizzati dalla centralina insieme al regime motore per calcolare il punto corretto di iniezione nei singoli cilindri e il corrispondente angolo di accensione. Il segnale del

rilevatore può essere misurato con l'oscilloscopio al PIN 8 e al PIN 5 della centralina. Alimentazione positiva al PIN 1 del sensore B2. Alimentazione negativa (massa, morsetto 31) al PIN 3 del sensore B2.

Sonda lambda (sonda a salto di tensione) B6. Registra l'ossigeno residuo nei gas di scarico e, tramite il feedback fornito sotto forma di segnale in tensione, consente alla centralina di adeguare la quantità di iniezione per avere un coefficiente $\lambda = 1$. Dato che la sonda entra in funzione a una temperatura tra i 250 e i 300 °C, la sonda viene riscaldata elettricamente per ottenere una risposta immediata. In caso di avaria della sonda, non è più possibile alcun adeguamento λ . L'avaria è rilevata dalla centralina e l'impianto di alimentazione assume il controllo. Il segnale della sonda può essere misurato con l'oscilloscopio al PIN 17 e al morsetto 31. Il riscaldatore della sonda riceve un segnale positivo di alimentazione dal morsetto 15 sul morsetto 85 e un segnale negativo di alimentazione dal morsetto 31.

Relè principale K1. Quando è attivato il quadro strumenti, il relè principale riceve un segnale positivo di alimentazione dal morsetto 15 sul morsetto 85 e un segnale negativo di alimentazione dal PIN 3 della centralina sul morsetto 86. In questo modo, il

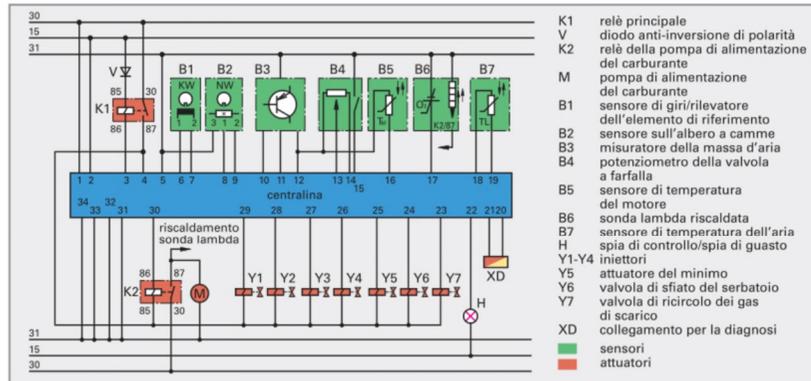


Figura 1: Schema elettrico della LH-Jetronic

circuito della corrente di lavoro chiude il relè e alla centralina arriva il segnale di tensione sul PIN 4. Anche le elettrovalvole da Y1 a Y7 e il circuito della corrente di comando da K2 al morsetto 85 sono alimentati.

Relè della pompa di alimentazione carburante K2. Il relè chiude quando il relè principale K1 fornisce il segnale positivo di alimentazione al morsetto 85 e il segnale di massa al morsetto 86. Per stabilire un collegamento di massa, il PIN 30 deve essere commutato a massa. Il circuito della corrente di lavoro fornisce un segnale di tensione alla pompa di alimentazione del carburante M e al riscaldatore della sonda lambda. Il segnale di tensione è interrotto quando il segnale di regime motore del sensore di giri motore viene a mancare.

Iniettori da Y1 a Y4. Ricevono, come il relè K2 della pompa di alimentazione del carburante, la tensione dal relè principale K1. Se gli iniettori devono aprirsi, la centralina deve commutare i PIN 26, 27, 28 e 29 a massa.

Attuatore del minimo Y5. Tramite questo attuatore, la centralina regola il regime del minimo a seconda

della temperatura del motore. L'attuatore riceve il segnale positivo di alimentazione da K1 sul morsetto 87. Per ottenere un'apertura e una chiusura continua della sezione del bypass, l'attuatore del minimo è pilotato con segnali PWM (Pulse Width Modulation) a massa.

Valvola di sfiato del serbatoio Y6. L'elettrovalvola apre e chiude il tubo di collegamento tra il collettore di aspirazione e il serbatoio a carboni attivi.

L'apertura avviene tramite segnali in PWM; mentre il segnale positivo di alimentazione arriva dal morsetto 87 di K1, quello negativo arriva dalla centralina attraverso il PIN 24. In caso di assenza del segnale, la valvola rimane chiusa.

Valvola di ricircolo dei gas di scarico Y7. L'elettrovalvola per il ricircolo dei gas di scarico apre e chiude, tramite un segnale PWM, il tubo di collegamento tra il collettore di scarico e il collettore di aspirazione.

Il segnale positivo di alimentazione arriva dal morsetto 87 di K1 e il segnale negativo di alimentazione dal PIN 23 della centralina. In assenza del segnale, la valvola si chiude.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Sulla base di quali segnali viene calcolata la quantità di iniezione di base nella LH-Motronic?
- 2 Quali sono i sottocomponenti presenti nella LH-Motronic?
- 3 Descrivete le diverse possibilità di regolazione del regime di minimo.
- 4 Di quali sensori ha bisogno la centralina per la decelerazione in cut-off?
- 5 Spiegate il concetto di "Motronic".
- 6 Quali sono le caratteristiche che distinguono gli

iniettori della LH-Jetronic?

- 7 Quale vantaggio comportano gli iniettori circondati da aria rispetto agli iniettori tradizionali?
- 8 Di quali sensori ha bisogno la LH-Motronic e a quale scopo vengono utilizzati i relativi segnali?
- 9 Quali attuatori vengono pilotati dalla LH-Motronic?
- 10 Come viene pilotato il relè della pompa di alimentazione?
- 11 Spiegate il concetto di segnale in PWM "Pulse Width Modulation".

12.4.6 ME-Motronic

La ME-Motronic (fig. 1) è un'ulteriore evoluzione della LH-Motronic. La notevole innovazione consiste nella gestione della carburazione attraverso un sistema di gestione della coppia motore che richiede l'impiego di un pedale dell'acceleratore elettronico (funzione di regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore). Nel sistema è stata inoltre integrata l'EObD.

Nei sistemi utilizzati sino ad oggi, il conducente apriva e chiudeva la valvola a farfalla agendo meccanicamente sul pedale dell'acceleratore. La massa d'aria aspirata e la quantità di carburante iniettata, di conseguenza, determinavano, unitamente al regime motore, la coppia richiesta. Eventuali coppie aggiuntive, dovute all'accensione del climatizzatore, erano considerate grandezze di disturbo e dovevano essere gestite a valle attraverso la regolazione del regime del minimo. Con la gestione della coppia, non è più solo la posizione del pedale dell'acceleratore a svolgere un ruolo determinante. Tutti i componenti che influenzano la coppia motrice, come il cambio automatico, il compressore del climatizzatore, il riscaldamento dei catalizzatori, l'ASR e l'ESP, sono chiamati in causa per il calcolo della coppia motore che deve essere generata. La Motronic crea una grandezza sostitutiva in cui confluiscono le richieste dei singoli sistemi con diverse priorità. Se si dovesse attivare il compressore del climatizzatore, la coppia motrice verrebbe ridotta. Per evitare questa situazione, la centralina riceve un segnale prima dell'attivazione del com-

pressore del climatizzatore. Attraverso l'apertura della valvola a farfalla, con molteplici iniezioni di carburante e attraverso una variazione dell'angolo di accensione, è possibile modificare il valore della coppia da generare. Per consentire ciò, la posizione della valvola a farfalla deve essere disgiunta dalla posizione del pedale dell'acceleratore e questo è possibile solo attraverso una regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore.

12.4.6.1 Sottocomponenti della ME-Motronic

Impianto di aspirazione. Una differenza sostanziale rispetto alla LH-Jetronic sta nell'introduzione della cosiddetta funzione della **regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore**. Tramite il modulo del pedale dell'acceleratore, è rilevata la richiesta del conducente che avviene per motivi di sicurezza tramite due potenziometri ridondanti oppure due trasduttori integrati nel modulo. La posizione e la velocità di spostamento del pedale dell'acceleratore sono comunicate alla centralina attraverso i segnali di tensione creati.

La centralina calcola la coppia necessaria utilizzando dei diagrammi caratteristici salvati in memoria e porta la valvola a farfalla nella posizione corrispondente tramite un servomotore. La valvola a farfalla è monitorata da due potenziometri. In questo modo, tra pedale acceleratore e valvola a farfalla non esiste più nessun collegamento meccanico (drive by wire). In caso di avaria del sistema dovuta a segnali non chiari provenienti dai sensori, la valvola a farfalla è automaticamente posta in una posizione di sicurezza (recovery).

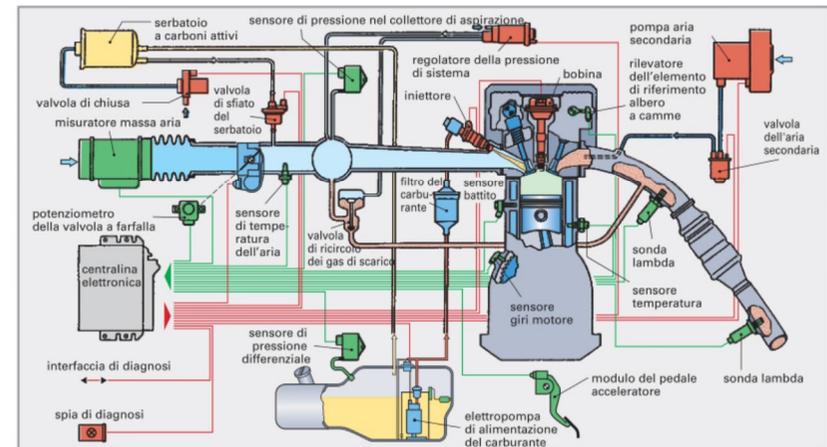


Figura 1: ME-Motronic

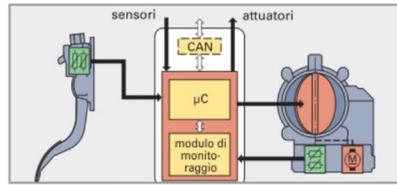


Figura 1: Sistema di regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore

Impianto di alimentazione. L'alimentazione del carburante avviene sempre più per mezzo di sistemi a tubo singolo e a moduli di alimentazione integrati nel serbatoio. Quando sono impiegati i sistemi a tubo singolo (sistemi di alimentazione senza il flusso inverso), la pressione di alimentazione del carburante è solitamente mantenuta costante a 3 bar rispetto alla pressione ambiente. A fronte della variazione della pressione nel collettore di aspirazione, varia anche la pressione differenziale nell'iniettore, determinando una variazione della quantità di carburante iniettato. Questo errore è corretto tramite una funzione di compensazione. La pressione nel collettore di aspirazione è rilevata da un sensore di pressione presente nel collettore e la durata di iniezione è aumentata o diminuita dalla centralina.

Sistemi per la riduzione delle emissioni di sostanze nocive

Le normative sulla tutela dell'ambiente sono diventate nel tempo molto più severe ed è stato, quindi, necessario potenziare e migliorare i componenti già esistenti utilizzati per ridurre le emissioni.

Impianto di erogazione del carburante. Grazie a una rilevazione più precisa della massa d'aria aspirata tramite il debimetro con rilevazione della corrente di ritorno, il funzionamento del motore può avvenire all'interno di una finestra di valori lambda più stretta. La rilevazione del valore lambda per mezzo di sonde a banda larga consente un controllo più preciso rispetto a quanto fosse possibile in passato con le sonde a salto di tensione. Con l'impiego delle ruote foniche ad avvio rapido sull'albero a camme, è possibile anticipare la rilevazione della posizione di PMS in fase di accensione e, quindi, avviare prima il motore.

Sistema di sfiato del serbatoio. L'impianto di alimentazione del carburante è chiuso ermeticamente rispetto all'ambiente esterno. L'aerazione del serbatoio a carboni attivi avviene attraverso una valvola di chiusura, che è commutata in parallelo alla valvola di rigenerazione.

Ricircolo di gas di scarico. Grazie al raffreddamento dei gas di scarico ricondotti nella camera di combustione, migliora anche la riduzione dei NO_x. Per questo motivo, è prevista l'installazione di un ra-

diatore nell'impianto di ricircolo dei gas di scarico.

Impianto aria secondaria. Si compone della pompa e della valvola dell'aria secondaria. Questo sistema è utilizzato nell'avviamento a freddo del motore per ridurre CO e HC. Inoltre, riscalda il catalizzatore molto velocemente, portandolo alla temperatura di esercizio.

Introduzione dell'EOBD. È necessario garantire il monitoraggio di tutti i componenti che, in caso di avaria o guasto, potrebbero causare un diverso comportamento dei gas di scarico. Gli errori che si presentano devono essere salvati e visualizzati.

12.4.6.2 Comando elettronico della ME-Motronic

Oltre ai sensori e agli attuatori presenti nella LH-Motronic, sono utilizzati anche i seguenti componenti (cfr. fig. 1 a pag. 300 e fig. 1 a pag. 301).

Sensore di pressione nel collettore di aspirazione B9. Il suo segnale è necessario per rilevare la pressione nel collettore di aspirazione e per compensare la diversa pressione differenziale sull'iniettore tramite un adeguamento della durata di iniezione. Il segnale, inoltre, è utilizzato per calcolare la corrente di lavaggio del filtro a carboni attivi. In caso di avaria del misuratore di massa d'aria, è possibile generare un segnale sostitutivo preciso della massa d'aria aspirata tramite un sensore di pressione nel collettore di aspirazione. Il sensore è collegato alla centralina tramite i PIN 49, 50 e 53 (massa).

Sensore di pressione differenziale B10. Per verificare la tenuta del serbatoio del carburante, la pressione interna del serbatoio è monitorata attraverso l'autodiagnosi. Il sensore è collegato con la centralina tramite i PIN 51, 52 e 53 (massa).

Sonda lambda II B11. La sonda lambda a valle serve per monitorare il corretto funzionamento del catalizzatore. Essa esegue anche l'adattamento della sonda a monte. In caso di avaria della sonda lambda, il guasto è rilevato e salvato dall'EOBD. La sonda lambda continua a eseguire la regolazione, ma la funzione del catalizzatore non è più monitorata. Il segnale della sonda può essere misurato con l'oscilloscopio al PIN 10 e al PIN 11. La sonda è riscaldata tramite il PIN 9 (massa) e K1 (positivo alimentazione).

Trasduttore posizione pedale acceleratore B12. In presenza di un pedale dell'acceleratore elettronico, la richiesta del conducente è rilevata tramite la posizione e la velocità di movimento del pedale dell'acceleratore. Il segnale necessario per la centralina è creato tramite due potenziometri ridondanti integrati nel modulo del pedale dell'acceleratore. Il potenziometro 1 è collegato alla centralina tramite i PIN 37, 38, 39 e il potenziometro 2 tramite i PIN 40, 41 e 42.

Trasduttore posizione valvola a farfalla B4. La posizione della valvola a farfalla deve essere rilevata con precisione dalla centralina per il confronto tra il valore reale e quello di riferimento. Per motivi di sicurezza e per una maggiore precisione, sono utilizzati due potenziometri ridondanti. Se il controllo di plausibilità dei quattro potenziometri, eseguito dal sistema di monitoraggio della regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore, rileva uno scostamento dal valore di riferimento, sono utilizzati dei segnali sostitutivi. In situazioni di emergenza, per esempio quando i due potenziometri della valvola a farfalla forniscono segnali diversi, la valvola a farfalla è chiusa sino a quando è possibile raggiungere solo un regime motore molto basso. I sensori possono essere verificati ai PIN 31, 32, 33 (potenziometro 1) e ai PIN 31, 33, 34 (potenziometro 2) del connettore della centralina.

Servomotore per la regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore B4. Il servomotore della valvola a farfalla è pilotato dalla centralina per mezzo

dei PIN 35 e PIN 36. La posizione della valvola è calcolata tramite la centralina che definisce la coppia di riferimento, che è generata da uno specifico riempimento, e per la quale è necessaria una precisa posizione della valvola. In caso di avaria del motore, la valvola a farfalla raggiunge la posizione di recovery che consente un bssso regime del motore.

Pompa dell'aria secondaria M1. Indipendentemente dalla temperatura del motore, aspira dell'aria fresca per un periodo definito, subito dietro alla valvola di scarico. Riceve il segnale di tensione da K3, il segnale positivo da K1 e quello negativo dal morsetto 31. La funzionalità della pompa è monitorata dall'autodiagnosi.

Valvola aria secondaria Y9. Protegge la pompa di aria secondaria e impedisce che i gas di scarico caldi penetrino nella pompa. Riceve il segnale di alimentazione positivo da K1 e il segnale di alimentazione negativo dal PIN 19 della centralina.

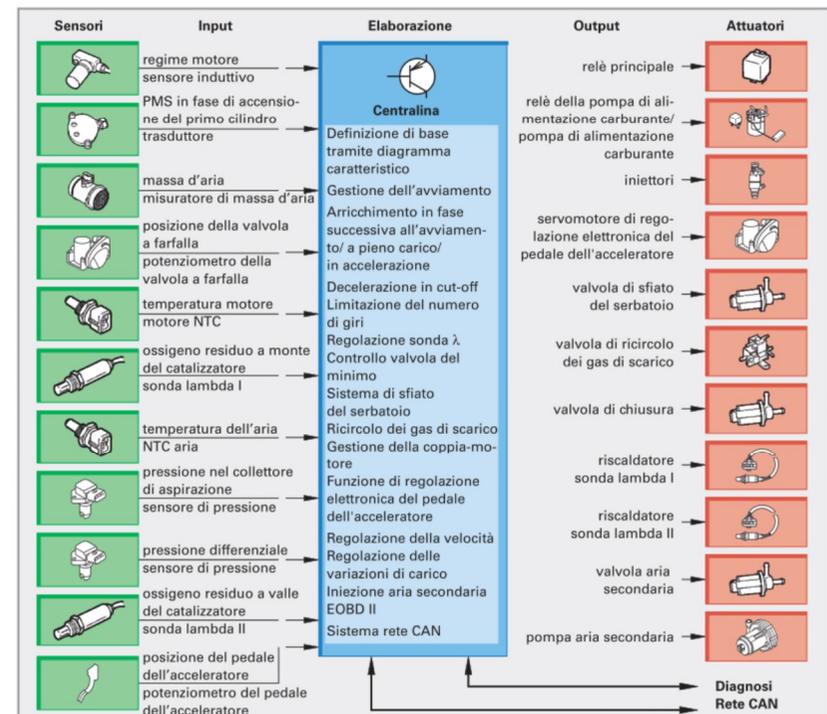


Figura 1: Schema a blocchi della ME-Motronic

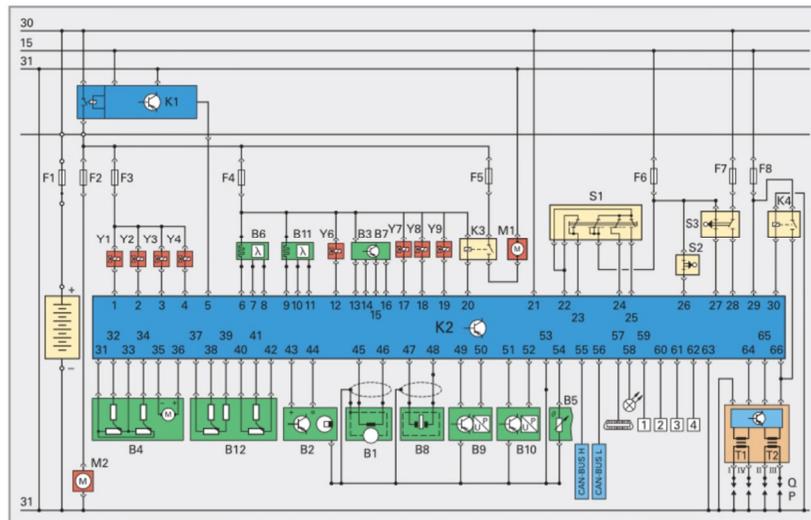


Figura 1: Schema elettrico della ME-Motronic

Legenda dello schema elettrico

B1 sensore giri su albero a camme
B2 trasduttore del PMS su albero a camme
B3 misuratore della massa d'aria
B4 trasduttore della posizione della valvola a farfalla con servomotore di regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore
B5 sensore di temperatura motore
B6 sonda lambda riscaldata I
B7 sensore di temperatura aria aspirata
B8 sensore del battito in testa
B9 sensore di pressione nel collettore di aspirazione

B10 sensore di pressione differenziale
B11 sonda lambda riscaldata II
B12 trasduttore della posizione del pedale acceleratore
F1...F8 fusibili
K1 relè pompa di alimentazione carburante
K2 centralina ME-Motronic
K3 relè pompa aria secondaria
K4 relè ultimo stadio impianto di accensione
M1 pompa aria secondaria
M2 elettropompa di alimentazione del carburante

S1 interruttore per cruise control
S2 interruttore pedale frizione
S3 interruttore pedale del freno cruise control
T1, T2 bobine di accensione a doppia scintilla
Y1...Y4 iniettori
Y6 valvola di rigenerazione
Y7 valvola di ricircolo dei gas di scarico
Y8 valvola di chiusura
Y9 valvola aria secondaria
1...4 ingressi e uscite di altri impianti

Valvola di chiusura Y8. Interrompe la mandata dell'aria verso il filtro a carboni attivi quando la rigenerazione non è in funzione. La valvola di chiusura è aperta in parallelo alla valvola di sfidato dal serbatoio con il segnale di alimentazione positivo proveniente da K1 e con il segnale di alimentazione negativo proveniente dal PIN 18 della centralina.

Collegamento della centralina Motronic con altri sistemi tramite la rete CAN

La centralina motore deve ricevere tutti i dati necessari per una corretta carburazione in ogni condizione di esercizio e in ogni situazione di funzionamento. A tal fine, tutte le centraline che possono influenzare la propulsione della vettura sono collegate tramite una rete ad alta velocità (rete CAN).

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sensori e attuatori vengono impiegati nella ME-Motronic?
- 2 In quali PIN è possibile verificare i sensori B4, B9, B10, B11 e B12?
- 3 Descrivete la struttura e il funzionamento di un sistema di regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore (E-Gas).
- 4 Quali sistemi e quali provvedimenti per la tutela dell'ambiente sono presenti in una ME-Motronic?
- 5 In quali PIN è possibile verificare gli attuatori M1, Y9 e M2?
- 6 Quale sistema di accensione è utilizzato nell'impianto raffigurato nello schema qui sopra?
- 7 Che cosa succede se K1 si chiude?

12.4.7 Iniezione diretta della benzina

Per iniezione diretta di benzina si intende il processo di formazione della miscela durante il quale il carburante del motore a ciclo Otto è iniettato ad alta pressione direttamente nella camera di combustione.

L'iniezione diretta di benzina è stata adottata da quasi tutti i costruttori perché, rispetto all'iniezione indiretta, presenta i seguenti vantaggi:

- il carburante liquido è iniettato direttamente nella camera di combustione dove avviene l'evaporazione del carburante. Questo si traduce in un raffreddamento interno efficace e in una maggior potenza del motore;
- grazie alla possibilità della carica stratificata, il motore consente un maggiore ricircolo dei gas di scarico;
- a carico parziale si raggiungono pressioni interne efficaci tramite il controllo della qualità della miscela. Le perdite di carico fluidodinamiche vengono ridotte dall'apertura massima della valvola a farfalla con la carica stratificata. Questo determina maggiore efficienza, maggiore potenza e un consumo di carburante più contenuto;
- con l'iniezione diretta di benzina nell'avviamento a freddo o in accelerazione, la miscela richiede un minore arricchimento rispetto all'iniezione indiretta. Ne scaturiscono valori di emissioni più favorevoli e consumi inferiori.

A fronte dei vantaggi, sono presenti anche i seguenti svantaggi:

- a livello progettuale e di gestione, il sistema risulta più complesso, soprattutto per la carica stratificata;
- maggiori emissioni di NO_x a causa di una miscela magra con la carica stratificata che non possono essere ridotte dal catalizzatore a 3 vie. Si rende quindi necessario il catalizzatore ad accumulo di NO_x, che deve essere rigenerato a intervalli costanti. Lo zolfo presente nel carburante, inoltre, impedisce al catalizzatore di funzionare in modo efficace.

12.4.7.1 Modalità di funzionamento dell'iniezione diretta di benzina

Negli impianti a iniezione diretta di benzina si distinguono due modalità principali di funzionamento:

- modalità stratificata (guidata da parete o guidata dal getto);
- modalità omogenea.

Modalità stratificata. La modalità stratificata è possibile a coppie e regimi bassi sino a circa 3000-3500 giri/min. Il carburante è iniettato nella camera di combustione durante la fase di compressione

poco prima del punto di accensione. Dato che l'accensione avviene entro un breve lasso temporale, il carburante non riesce a mescolarsi uniformemente con l'aria presente nella camera di combustione. Il carburante iniettato raggiunge la candela di accensione sotto forma di nuvola di carburante vaporizzato in virtù di un vortice presente nella camera (procedimento guidato dalla parete, fig. 1). Nella nuvola di carburante, la miscela ha un rapporto pari a 0,95-1; risulta pertanto molto magra.

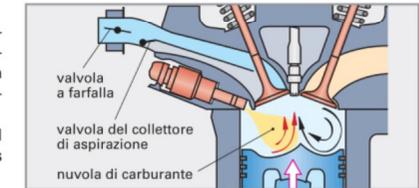


Figura 1: Modalità stratificata nel procedimento guidato dalla parete

Nel procedimento guidato dal getto, si ottiene la modalità stratificata grazie all'iniettore che agisce nelle immediate vicinanze della candela di accensione, creando una nuvola di miscela infiammabile (fig. 2). Anche in questo caso, nella camera di combustione al di fuori della nuvola è presente un eccesso d'aria.

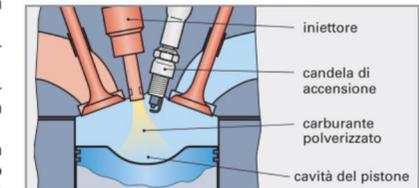


Figura 2: Modalità stratificata nel processo guidato dal getto

Durante la combustione si crea una quantità elevata di NO_x a causa della miscela magra. Per ridurre le emissioni di NO_x, la quota di ricircolo dei gas di scarico dei motori raggiunge anche il 40%. Dato che la valvola a farfalla nella modalità stratificata è completamente aperta, la coppia si genera tramite un controllo di qualità della miscela nella modalità stratificata. Se in questa condizione di esercizio la richiesta di coppia fosse troppo elevata, si formerebbero delle particelle dovute alle molteplici iniezioni. A regimi troppo elevati, nella camera di combustione subentrano delle turbolenze che non consentono la formazione di una nuvola di miscela $\lambda = 1$. La conseguenza consiste in combustione carente e mancate accensioni.

Modalità omogenea. A coppie o regimi elevati, il motore sfrutta una miscela omogenea pari a $\lambda = 1$ o, per ottenere la massima potenza, di $\lambda < 1$. La valvola del collettore di aspirazione è aperta per ottenere il maggior riempimento possibile dei cilindri. Inoltre, è posticipato l'inizio dell'iniezione nella fase di aspirazione. Il lasso temporale disponibile prima dell'accensione della miscela consente una buona miscelazione del carburante con l'aria aspirata e una distribuzione omogenea nella camera di combustione (miscela omogenea, fig. 1).



Figura 1: Modalità omogenea

Nella modalità omogenea, la coppia è modulata in base al controllo della quantità della miscela. La quantità dell'aria aspirata, quindi, è regolata dalla valvola a farfalla. La carburazione e la combustione avvengono come nel caso dell'iniezione nel collettore di aspirazione. Oltre a queste due modalità, a seconda della versione dell'impianto di iniezione e del motore, possono essere utilizzate anche altre modalità aggiuntive.

Modalità omogenea-magra. In una fase transitoria tra la modalità stratificata e la modalità omogenea, il motore può funzionare con una miscela omogenea-magra. In una modalità con $1 < \lambda < 1,2$ il consumo di carburante viene ridotto rispetto alla modalità omogenea con $\lambda = 1$. Nella modalità magra, aumenta la temperatura di combustione a causa della riduzione del raffreddamento interno.

Modalità omogenea-stratificata. In questa modalità è preparata una miscela omogenea-magra nella camera di combustione, tramite l'anticipo di iniezione (circa il 75% del carburante) nella fase di aspirazione. Nella fase di compressione, avviene una seconda iniezione (doppia iniezione) che genera, nell'area circostante alla candela di accensione, una zona con miscela più grassa che ha una buona infiammabilità, garantendo una combustione efficace nella camera di combustione.

Modalità omogenea antidetonante. Tramite la doppia iniezione a pieno carico, si può evitare di ritardare il punto di accensione per evitare il battito. La stratificazione della carica impedisce il pericolo di autoaccensione del carburante.

Riscaldamento stratificato del catalizzatore. Questa tipologia di doppia iniezione consente un rapido riscaldamento del catalizzatore. In questo modo viene preparata una miscela magra come nella modalità stratificata. Dopo l'accensione del carburante si ha un'ulteriore iniezione nella fase attiva. Questo carburante brucia molto tardi e riscalda fortemente il condotto di scarico.

12.4.7.2 Procedimenti nell'iniezione diretta di benzina

Nell'iniezione diretta di benzina sono utilizzati diversi procedimenti per miscelare aria e benzina nella camera di combustione.

Carburazione guidata dalla parete

L'aria a carico parziale è condotta nel cilindro in modo tale che il vortice d'aria trasporti il carburante iniettato in prossimità della candela di accensione dove crea una nuvola di carburante infiammabile con un rapporto di miscela con, approssimativamente, $\lambda = 1$.

Per ottenere una nuvola di carburante separata dal resto della camera di combustione con $\lambda = 1$, è necessaria una turbolenza ben precisa. Questa può essere creata con diverse modalità.

Turbolenza swirl (fig. 2, pag. 304 a sinistra). Spesso il canale di aspirazione è diviso. Nell'area più bassa del carico parziale a bassi regimi, il canale di riempimento è chiuso dalla valvola del collettore di aspirazione. Un canale di vortice crea una corrente d'aria che gira attorno all'asse verticale (swirl).

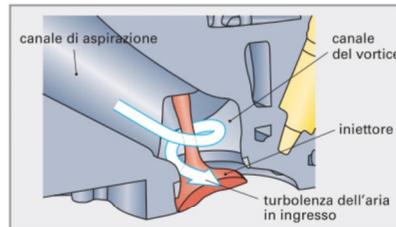


Figura 2: Canale di vortice

Il vortice creato può essere rafforzato da valvole di aspirazione nascoste (fig. 1, pag. 304).

Turbolenza tumble (fig. 2, pag. 304 a destra). L'aria che proviene dall'alto nella camera di combustione è indirizzata dalla concavità della testa del pistone e/o dal deflettore del pistone verso l'alto e, quindi, nuovamente verso la candela di accensione. In questo modo, si genera una turbolenza cilindrica (tumble).

È prassi che entrambe le modalità siano impiegate per la generazione di turbolenze.

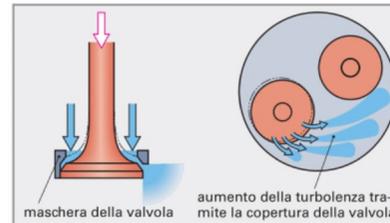


Figura 1: Valvole di aspirazione nascoste

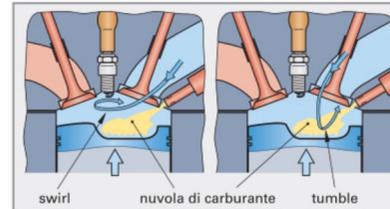


Figura 2: Turbolenza swirl e tumble

Configurazione della testata e della camera di combustione (fig. 3). La candela di accensione è posizionata al centro nella testata tra le valvole. L'iniettore è decentrato e montato lateralmente nella testata. Attraverso il polverizzatore, il carburante è iniettato diagonalmente nella camera di combustione. La turbolenza d'aria indirizzata verso il PMS e generata dal movimento del pistone trasporta il carburante iniettato verso la candela di accensione. Grazie alla presenza di deflettori accentuati e di cavità sulla testa del pistone, è possibile gestire le turbolenze swirl e tumble e avere così a disposizione, nella modalità stratificata, una miscela infiammabile con $\lambda = 1$ nella zona prossima alla candela.



Figura 3: Camera di combustione con miscelazione guidata dalla parete

Nella modalità omogenea, la configurazione della camera di combustione non è ottimale, vista la presenza di intagli e cavità nella testa del pistone. In questa modalità di funzionamento, non è quindi possibile ridurre il consumo di carburante.

Iniettore ad alta pressione (fig. 4). Questa tipologia è costituita da elettrovalvole con polverizzatori che presentano da cinque a otto fori. L'iniettore ad alta pressione equivale a livello funzionale all'iniettore nel collettore di aspirazione.

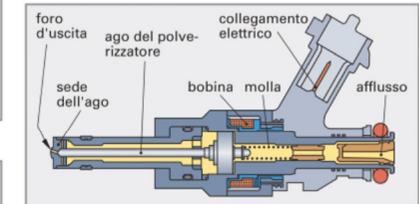


Figura 4: Iniettore ad alta pressione

Poiché l'iniezione diretta presenta una configurazione completamente diversa, l'iniettore deve soddisfare criteri completamente diversi. Le pressioni di iniezione, che possono arrivare sino a 200 bar, richiedono una camera di combustione molto solida e resistente alle alte temperature. Il tempo a disposizione per l'iniezione risulta notevolmente ridotto rispetto all'iniezione nel collettore di aspirazione e, quindi, l'iniezione deve avvenire entro 0,4 ms al minimo ed entro 5 ms a pieno carico. Gli errori dovuti a un'apertura tardiva degli iniettori hanno un'incidenza maggiore rispetto all'iniezione nel collettore di aspirazione.

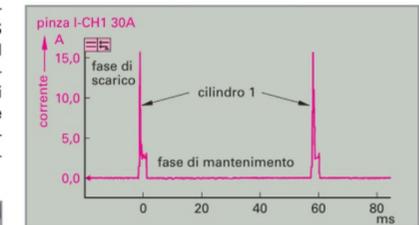


Figura 5: Andamento della corrente nel processo di iniezione

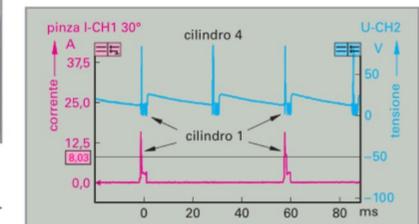


Figura 6: Andamento della tensione (blu) e della corrente (rosso) nel processo di iniezione (VW Lupo 1,4)

Nel circuito ad alta pressione la pressione del carburante aumenta da 50 a 200 bar tramite una pompa ad alta pressione. Sfruttando il regolatore di pressione, la centralina adegua la pressione al valore di riferimento. Il circuito di regolazione è chiuso tramite il sensore di pressione integrato nel circuito che comunica il valore reale di pressione alla centralina.



Figura 1: Pompa ad alta pressione

Pompa ad alta pressione (fig. 1). Ha il compito di aumentare la pressione del carburante trasportato dall'elettropompa di alimentazione di circa 3-5 bar sino a 200 bar e di condurlo nel rail. Si utilizzano pompe a pistone a cilindro singolo che presentano una configurazione simile alle pompe dei sistemi common rail. Queste pompe sono trascinate dall'albero a camme. Nel caso dei motori a quattro cilindri, si utilizzano quattro camme. In questo modo il funzionamento della pompa è sincrono rispetto alle iniezioni e le oscillazioni di pressione nel rail, durante il processo di iniezione, sono identiche in ogni cilindro. Le diverse quantità di iniezione sono quindi compensate in questo modo con le oscillazioni di pressione nel rail.

Rail. Ha il compito di raccogliere il carburante fornito dalla pompa ad alta pressione e di distribuirlo agli iniettori. Il volume deve essere tanto elevato da fare sì che le pulsazioni di pressione causate dalla pompa vengano ampiamente compensate. Sul rail sono montati un sensore di alta pressione e la valvola di regolazione della pressione (fig. 2).

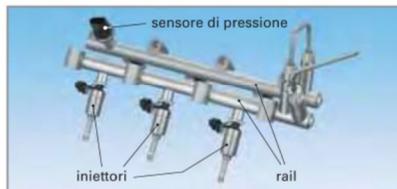


Figura 2: Rail di un motore V6 con iniettori

Valvola di regolazione della pressione (fig. 3). La valvola regola la pressione desiderata nel rail modificando la sezione di passaggio verso il circuito di bassa pressione. La valvola di regolazione della pressione è tenuta chiusa in assenza di corrente. È pilotata dalla centralina tramite un segnale in PWM e aperta in maniera variabile. Una funzione di limitazione della pressione protegge l'impianto.

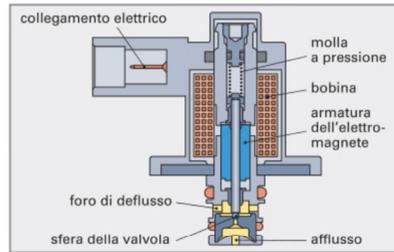


Figura 3: Valvola di regolazione della pressione

Comando elettronico della MED-Motronic

Il sistema di controllo della MED-Motronic contiene, oltre ai sensori della ME-Motronic, i seguenti sensori e attuatori (cfr. fig. 1 a pag. 308 e fig. 1 a pag. 309).

Sensore NO_x B14. Ha il compito di monitorare il funzionamento del catalizzatore ad accumulo di NO_x, di rilevare gli NO_x e la percentuale di ossigeno nei gas di scarico. Il segnale è elaborato dal sensore NO_x (K6) che, in caso di necessità, può comandare la rigenerazione del catalizzatore ad accumulo passando alla modalità omogenea-grassa.

Sensore di temperatura dei gas di scarico B15. Il sensore rileva la temperatura dei gas di scarico. L'intervallo effettivo di lavoro del catalizzatore ad accumulo di NO_x va da 250 a 500 °C. Per questo motivo, può essere attivato solo nella modalità stratificata quando le temperature dei gas di scarico rientrano in questo intervallo. Il sensore è collegato con la centralina tramite il PIN 57 e il PIN 49.

Sonda lambda a banda larga B13. È utilizzata per quantificare la percentuale di ossigeno nei gas di scarico in un ampio intervallo λ. La durata di iniezione è corretta se il valore reale rilevato dalla sonda si discosta dal valore di riferimento salvato in un diagramma caratteristico. La sonda è collegata alla centralina tramite i PIN 24, 25, 26 e 27. Il riscaldatore della sonda riceve il segnale positivo di alimentazione da K5 e il segnale negativo dal PIN 28.

Trasduttore della valvola del collettore di aspirazione B16. Rileva, tramite un potenziometro, la posizione della valvola del collettore di aspirazione: chiuso in modalità stratificata, aperto in modalità omogenea. Dato che la posizione della valvola influenza l'accensione e il ricircolo dei gas di scarico, la posizione della valvola è monitorata anche dalla diagnosi on board. Il potenziometro può essere verificato ai PIN 49, 52 e 54.

Sensore di pressione carburante B17. Rileva la pressione del carburante presente nel rail. Questa informazione è inviata, sotto forma di segnale di tensione, alla centralina che imposta la pressione richiesta del carburante tramite la valvola di regolazione della pressione carburante.

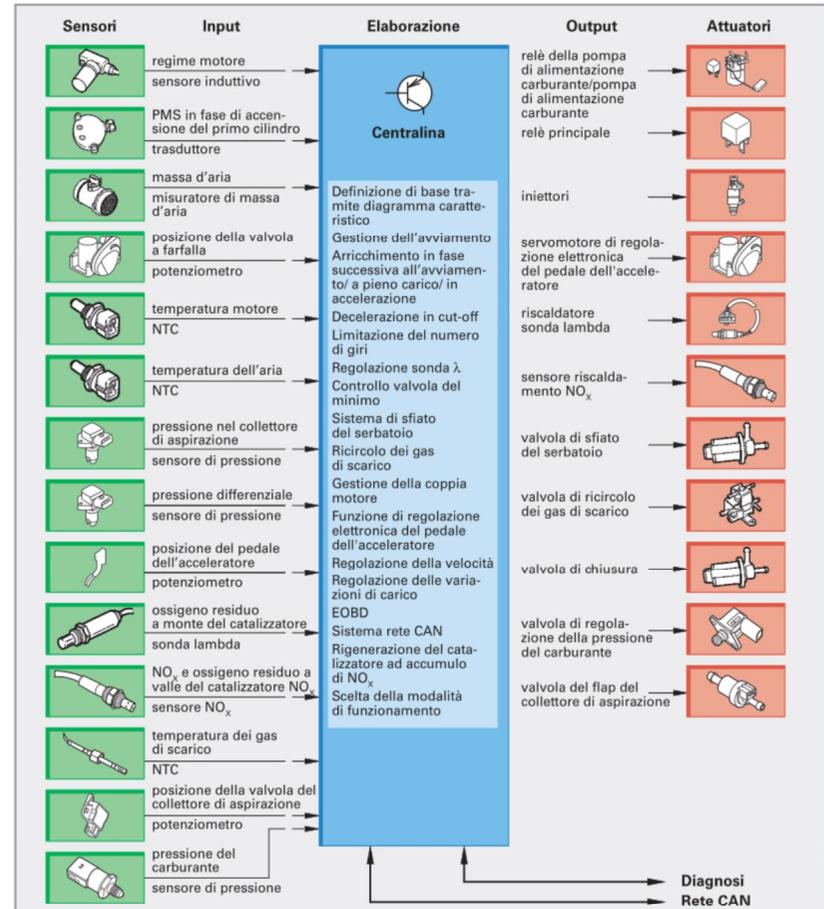


Figura 1: Schema a blocchi della MED-Motronic

Il sensore riceve il segnale positivo di alimentazione dal PIN 12 e il segnale negativo dal PIN 22. Il segnale viene trasferito tramite il PIN 13. Il sistema della MED-Motronic ha inoltre bisogno dei seguenti attuatori aggiuntivi.

Valvola di regolazione della pressione del carburante Y11. Regola la pressione del carburante nel rail a seconda delle condizioni di esercizio da 50 bar sino a 120 bar. Viene comandata dalla centralina con un segnale di massa sul PIN 33. Il segnale di alimentazione positivo arriva da K5.

Valvola per il flap del collettore di aspirazione Y10. Questa valvola apre l'intera sezione del collettore di aspirazione nella modalità omogenea per ottenere il massimo riempimento d'aria della camera di combustione. Nella modalità stratificata, provvede a chiudere un canale del collettore di aspirazione che aumenta la velocità delle turbolenze e incrementa il vortice nella camera di combustione per la formazione della nuvola di carburante. La valvola è pilotata tramite il segnale di alimentazione negativo proveniente dal PIN 32. Il segnale di alimentazione positivo arriva da K5.

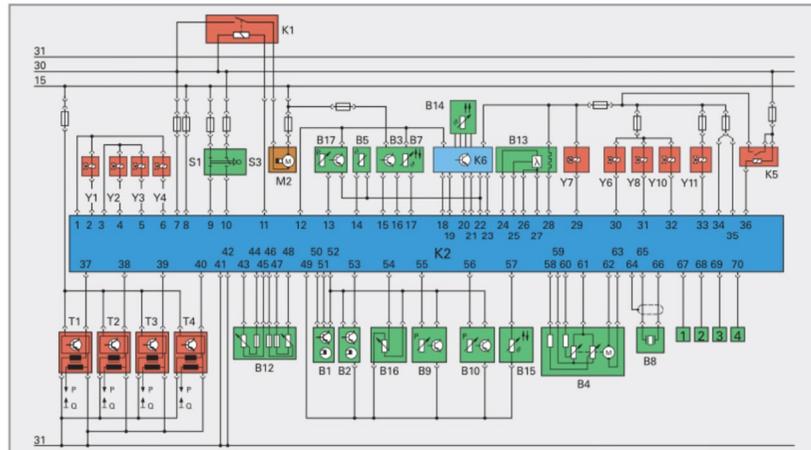


Figura 1: Schema elettrico della MED-Motronic

Legenda dello schema elettrico

B1 sensore di giri su albero a camme
B2 trasduttore del PMS su albero a camme
B3 misuratore della massa d'aria
B4 trasduttore della posizione della valvola a farfalla con servomotore di regolazione elettronica del pedale dell'acceleratore
B5 sensore di temperatura motore
B7 sensore di temperatura aria aspirata
B8 sensore del battito in testa
B9 sensore di pressione nel collettore di aspirazione
B10 sensore di pressione differenziale

B12 trasduttore della posizione del pedale acceleratore
B13 sonda λ a banda larga
B14 sensore NO_x
B15 sensore di temperatura gas di scarico
B16 potenziometro della valvola del collettore di scarico
B17 sensore di pressione carburante
F1...F12 fusibili
K1 relè pompa di alimentazione carburante
K2 centralina MED-Motronic
K5 relè alimentazione Motronic
K6 centralina sensore NO_x
M2 elettropompa di alimentazione del carburante

S1 interruttore per cruise control
S3 interruttore pedale del freno cruise control
T1...T4 bobina di accensione a singola scintilla
Y1...Y4 iniettori
Y6 valvola di sfogo serbatoio
Y7 valvola di ricircolo dei gas di scarico
Y8 valvola di chiusura
Y10 valvola per il flap del collettore di aspirazione
Y11 valvola di regolazione della pressione carburante
1...4 ingressi e uscite di altri impianti

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali vantaggi offre l'iniezione diretta nei motori a benzina?
- 2 Quali svantaggi subentrano nell'iniezione diretta di benzina rispetto all'iniezione nel collettore di aspirazione?
- 3 Descrivete le varie modalità dell'iniezione diretta di benzina.
- 4 Quali processi di combustione sono utilizzati nell'iniezione diretta di benzina?
- 5 Descrivete l'alimentazione del carburante nell'iniezione diretta di benzina.
- 6 Quali componenti dell'iniezione diretta di benzina sono stati modificati o aggiunti rispetto all'iniezione nel collettore di aspirazione? Spiegate il compito e la funzione.
- 7 Quali tipologie di sensori sono impiegati nell'iniezione diretta di benzina.

- 8 Quali attuatori vengono pilotati dalla centralina nell'iniezione diretta?
- 9 Per quale motivo viene utilizzata come sonda λ una sonda a banda larga e non una sonda a salto di tensione?
- 10 Quali componenti vengono alimentati con corrente dal relè della pompa di alimentazione del carburante?
- 11 Qual è il compito del relè K5? Quali condizioni devono essere soddisfatte affinché la corrente di lavoro possa fluire?
- 12 Per quale motivo è necessario il sensore NO_x ?
- 13 Come sono pilotati gli iniettori della MED-Motronic rappresentata?
- 14 Quali componenti della MED-Motronic devono essere monitorati dall'EOBD?
- 15 Quale impianto di accensione viene impiegato nella MED-Motronic raffigurata?

12.5 Formazione della miscela nei motori Diesel

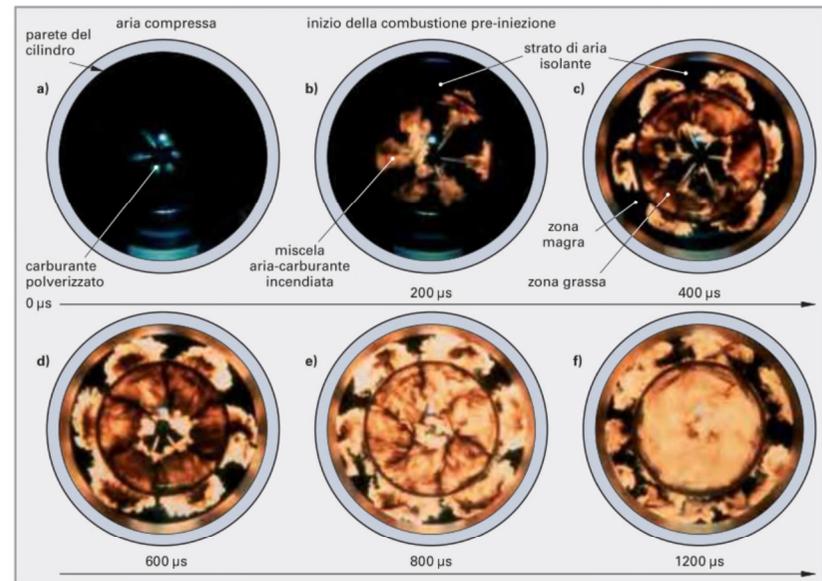


Figura 1a-f: Andamento della combustione in un motore Diesel common rail con pre-iniezione

Nei recenti motori Diesel, si ha sempre una formazione della miscela interna. Il carburante è iniettato a pressione elevata allo stato liquido nella camera di combustione. Qui evapora e procede alla combustione con l'aria compressa.

La **fig. 1a** mostra l'inizio della combustione della pre-iniezione con le prime "luci proprie della combustione".

Le immagini successive mostrano l'andamento della combustione della pre-iniezione e dell'iniezione principale a intervalli di circa 200-400 μs .

12.5.1 Distribuzione della miscela/valori λ nei motori Diesel

Il processo di combustione nei motori Diesel dipende fondamentalmente dalla preparazione della miscela aria-carburante. La qualità della carburazione influenza:

- la potenza del motore;
- il consumo di carburante;
- la composizione dei gas di scarico;
- la rumorosità della combustione.

Una buona formazione della miscela dipende dai seguenti parametri dell'iniezione:

- inizio dell'iniezione;
- durata e andamento dell'iniezione;
- pressione di iniezione;
- numero di ugelli del pulverizzatore;
- numero di iniezioni.

Mediante inserti in vetro e degli specchi (**fig. 1**), è possibile osservare i processi di iniezione e di combustione.

Il motore Diesel ricorre a una formazione della miscela eterogenea interna e all'autoaccensione. Facendo un raffronto con la combustione dei motori a ciclo Otto, il coefficiente d'aria lambda λ indica quanto la reale miscela aria-carburante si discosta dal rapporto aria-carburante stechiometrico (1 kg carburante: 14,8 kg aria) nel cilindro.

I valori lambda nei motori Diesel sovralimentati si aggirano attorno a $\lambda = 1,15-2,0$ a pieno carico e a $\lambda = 10-18$ al minimo.

Come mostrato dall'andamento della combustione nella **fig. 1**, nel motore Diesel ricorrono forti oscillazioni della miscela aria-carburante che va da magra a grassa.

Zone grasse, per esempio con solo carburante: al centro del getto vicino all'apertura del polverizzatore (nella fig. 1, pag. 310 in chiaro).

Zone magre, per esempio con solo aria: nella zona esterna (nella fig. 1, pag. 310 in scuro).

Le aree a miscela grassa determinano una combustione con particolato. Affinché non siano presenti troppe zone a miscela grassa, il motore Diesel ricorre a un eccesso d'aria. Nella zona esterna della goccia liquida (zona della miscela, fig. 1) nascono delle miscele infiammabili con valori pari a $\lambda = 0,3-1,3$. Tramite una polverizzazione efficace (la più fine possibile), ottenuta con elevate pressioni di iniezione, e un elevato eccesso d'aria, si crea una turbolenza ottimale con tante aree locali caratterizzate da valori lambda magri e infiammabili.

Si determina così una combustione priva di particelle di fuliggine. In questo modo, subentra una velocità relativamente elevata tra il getto del carburante e le turbolenze d'aria nel cilindro che 'disturgherà' il getto di carburante e garantisce una miscelazione ottimale.

12.5.2 Il processo di combustione nel motore Diesel

Il carburante liquido è iniettato nella camera di combustione a pressioni estremamente elevate, a seconda dell'impianto di iniezione e delle condizioni di carico, che vanno da 2500 bar nelle autovetture e sino a 3000 bar nei veicoli industriali. Le gocce di carburante nebulizzate, create dall'elevata pressione e dalle piccole aperture del polverizzatore (circa 0,15 mm), sono riscaldate da aria calda a 800 °C e iniziano ad evaporare (fig. 1). I vapori del carburante si mescolano all'aria calda e si incendiano, provocando la combustione con l'ossigeno contenuto nell'aria (autoaccensione). L'inizio della combustione nella zona della miscela comporta un aumento della temperatura. Subentrano quindi un'evaporazione e una miscelazione più rapide e, idealmente, una combustione pressoché completa delle gocce di carburante sino al loro interno.

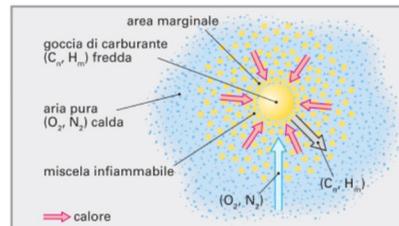


Figura 1: La combustione di una goccia di carburante

Ritardo di accensione nel motore Diesel

Il lasso di tempo che intercorre dall'uscita delle prime particelle di carburante dall'apertura del polverizzatore sino all'inizio della combustione, è definito ritardo di accensione.

Se trascorre oltre 1 ms dall'uscita della prima goccia di carburante alla sua accensione, si parla di ritardo di accensione elevato. Un ritardo di accensione troppo prolungato fa accumulare troppo carburante nella camera di combustione, che si infiamma rapidamente, provocando una combustione improvvisa. L'elevato quantitativo di carburante a combustione esplosiva determina così un innalzamento repentino della pressione nella camera di combustione, esponendo i componenti ad uno stress elevato (come nella combustione detonante nel motore a ciclo Otto) e provocando perdite di potenza. Una simile combustione provoca difficoltà a partire e una rumorosità detonante di combustione, spesso causate da:

- motore freddo che genera perdite termiche;
- inizio dell'iniezione troppo anticipato;
- cattiva qualità del carburante;
- pessima polverizzazione.

12.5.3 Pre-iniezione, iniezione principale e post-iniezione

La quantità di carburante di un'iniezione può essere ripartita, nei sistemi Common Rail, tra diverse pre-iniezioni, iniezioni principali e post-iniezioni (fig. 2).

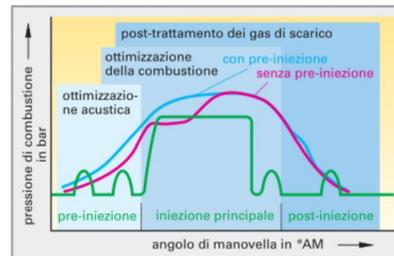


Figura 2: Pre-iniezione, iniezione principale e post-iniezione

Pre-iniezioni (iniezioni pilota). L'aumento della pressione e della temperatura nella camera di combustione è pilotato attraverso l'iniezione di piccole quantità di carburante prima che venga iniettata la quantità principale. Un aumento lineare della pressione e della temperatura garantisce una bassa rumorosità della combustione e una riduzione delle emissioni di NO_x nonché un minore ritardo dell'iniezione principale.

Iniezione principale. Per una buona formazione della miscela e, quindi, una combustione completa, è necessaria una pressione di iniezione costante. Quanto più una combustione è completa, tanto più si avrà un'elevata potenza con basse emissioni di sostanze nocive.

Post-iniezioni. Avvengono immediatamente dopo l'iniezione principale per ridurre le emissioni delle particelle di fuliggine nel caso di funzionamento con ricircolo dei gas di scarico. È possibile sfruttare una post-iniezione tardiva di carburante aumentando la temperatura dei gas di scarico per rigenerare il filtro antiparticolato.

12.5.4 Il processo di combustione

Nel caso di una combustione completa in condizioni ideali, avvengono due reazioni chimiche: ogni atomo di carbonio (C) unito a due atomi di ossigeno (O_2) si trasforma in biossido di carbonio (CO_2) e due atomi di idrogeno (H_2) con un atomo di ossigeno (O) si trasformano in acqua (H_2O) (fig. 1). Questa condizione ideale non si raggiunge nella combustione dei motori.

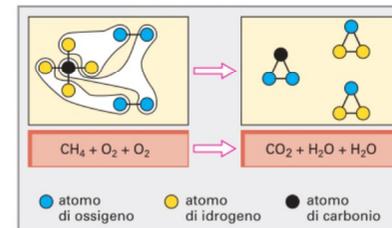


Figura 1: Ossidazione completa del metano (CH_4)

Si generano, infatti, dei composti in parte tossici come il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO_x), l'ossido di zolfo (SO_2), i residui carboniosi (PM = Particulate Matter) e gli idrocarburi incombusti (HC).

Combustione incompleta per carenza di ossigeno

Il motore Diesel è gestito in ogni condizione di esercizio con un eccesso d'aria. Può accadere, però, che subentri una carenza di ossigeno. Per esempio, mentre il carburante presente nella zona esterna delle gocce di miscela reagisce con l'ossigeno dell'aria circostante, all'interno delle gocce l'aria è carente (fig. 1, pag. 311). Per questo motivo, la combustione all'interno della goccia risulta incompleta. Maggiori sono le dimensioni della goccia, maggiore sarà la carenza d'aria, con un elevato numero di molecole di idrogeno che non raggiungeranno la combustione completa.

Formazione di particolato. La combustione incompleta genera un nucleo fuliginoso sul quale si depositano altri resti della combustione, per esempio particelle di solfato e di idrogeno. Si parla di particelle di fuliggine e di depositi PM (fig. 2).

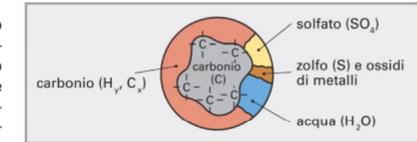


Figura 2: Particolato carbonioso

Grazie agli impianti di iniezione moderni, negli ultimi anni è stato possibile ridurre le emissioni di queste particelle del 90% circa. Tuttavia, le particelle che si generano sono così piccole che possono penetrare attraverso le vie aeree nei tessuti cellulari dell'uomo e causare tumori e patologie del sistema circolatorio. Un'emissione troppo elevata di particelle (formazione di fuliggine) può essere ricondotta alle seguenti cause:

- motore nell'avviamento a freddo o in riscaldamento;
- motore a pieno carico;
- filtro dell'aria intasato;
- iniettori o polverizzatori difettosi;
- camera di combustione o impianti di aspirazione usurati;
- compressione carente;
- messa a punto (tuning) non appropriata.

Provvedimenti per il miglioramento della formazione della miscela

La formazione della miscela è essenzialmente determinata dal grado di vorticosità dell'aria nella camera di combustione e dall'entità della pressione di iniezione. Nello specifico, sono adottati i seguenti provvedimenti:

- funzionamento dei motori Diesel in condizioni di eccesso d'aria e limitazione della quantità di iniezione massima a $\lambda \sim 1,3$ (limite di fumosità) per evitare che subentri una carenza di aria nella camera di combustione;
- turbolenze generate dai canali di vortice (cfr. par. 12.5.5, pag. 313) e configurazione del pistone che favorisce una migliore miscelazione di aria e carburante;
- ottimizzazione della geometria della camera di combustione per migliorare il processo di combustione;
- pre-riscaldamento del carburante per una migliore polverizzazione e una più rapida evaporazione del carburante;

- gestione dei tempi di incandescenza (pre e post-incandescenza) per riscaldare la camera di combustione e ridurre le perdite termiche;
- pre-iniezioni di piccole quantità di carburante per riscaldare l'aria aspirata, per ridurre il ritardo di accensione e per ottenere un aumento di pressione più graduale;
- pressioni di iniezione elevate per creare gocce di carburante con combustione più rapida e completa;
- post-iniezioni per la combustione successiva di particelle incombuste e idrocarburi.

Caratteristiche dei motori turbo Diesel a iniezione diretta

Presentano un basso consumo specifico di carburante, riconducibile ai seguenti motivi.

- **Buona efficienza termodinamica a carico parziale.** Grazie alla formazione della miscela eterogenea che avviene nel cilindro, la miscela risulta notevolmente più magra lungo le pareti del cilindro (fig. 1c, pag. 310). Questo "cuscinetto d'aria" ha un effetto isolante e fa sì che meno energia termica venga ceduta al liquido di raffreddamento tramite la parete del cilindro rispetto ai motori con formazione della miscela omogenea (motori a ciclo Otto).
- **Compressione più elevata.** Questa determina una pressione media di combustione più elevata. La rapportatura delle marce dei veicoli con motore Diesel può essere pertanto adeguata in modo tale da avere regimi motore inferiori ai motori a ciclo Otto.
- **Densità del carburante.** Il carburante diesel ha una densità di $\rho = 0,82-0,86$ kg/l rispetto a $\rho = 0,73-0,78$ kg/l della benzina super. Nel caso di un rifornimento di 100 l, la differenza a livello di massa è di 8-9 kg a favore del veicolo con motore Diesel, il che comporta un potere calorifico nettamente superiore.

12.5.5 Comando del canale di aspirazione

Nei veicoli con comando del canale di aspirazione, entrambi i canali di aspirazione presentano una configurazione diversa a seconda del cilindro. Mentre i canali di vortice creano un vortice al passaggio dell'aria, grazie alla loro forma "sinuosa", i canali di riempimento hanno una forma diritta affinché l'aria possa più facilmente scorrere dentro incontrando il minor attrito possibile. I canali di riempimento sono aperti e/o chiusi da valvole a sportello, comandati in base a diagrammi caratteristici. Un servomotore è pilotato tramite un segnale in PWM che, a sua volta, comanda le valvole, sfruttando una tiranteria.

Bassi regimi e bassi carichi. Tutte le valvole di riempimento si chiudono. L'intera massa d'aria passa esclusivamente dai canali di vortice. Ne scaturisce

una turbolenza elevata dell'aria che garantisce una miscelazione ottimale del carburante con l'aria e, quindi, una maggiore combustione, riducendo la formazione di particolato.

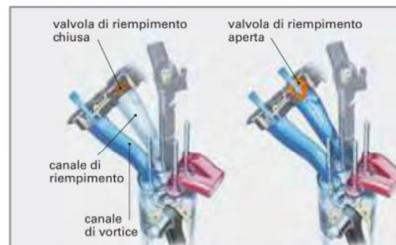


Figura 1: Comando del canale di aspirazione

Alti regimi e elevati carichi. I canali di aspirazione e riempimento sono aperti continuamente in modo tale che, per ogni condizione di esercizio del motore, sia disponibile il miglior rapporto possibile tra le turbolenze dell'aria e la massa d'aria. In questo modo, il comportamento dei gas di scarico e la potenza del motore risultano ottimizzati. A pieno carico, per esempio, la valvola del canale di vortice è completamente aperta, per ottenere il miglior riempimento possibile senza alcuna strozzatura

12.5.6 Processo di iniezione nel motore Diesel

Nei motori Diesel si distinguono sostanzialmente due diverse procedure di iniezione:

- **diretta** nella camera di combustione non suddivisa nella parte concava del pistone;
- **indiretta** nella camera secondaria (precamera o camera di turbolenza) di una camera di combustione suddivisa.

L'iniezione indiretta non è più impiegata nei motori Diesel moderni.

Motori Diesel a iniezione diretta (fig. 1, pag. 314)

Il carburante è iniettato nell'aria calda della camera di combustione tramite degli iniettori dotati di polverizzatori forati con una pressione pari a 2500 bar (**processo di distribuzione nell'aria**). La camera di combustione è composta sostanzialmente dalla cavità della camera di combustione che si trova sul pistone (pistoni del tipo "omega") e dalla testata appiattita. Le turbolenze necessarie per una combustione completa sono create tramite i canali di vortice e la forma del pistone. Per consentire alla pressione di aumentare gradualmente e avere così una maggior stabilità di funzionamento del motore, è iniettata una piccola quantità di carburante prima della quantità principale (pre-iniezione).

Le perdite termiche sono ridotte grazie alle superfici della camera di combustione, più piccole rispetto ai motori con iniezione indiretta. Si ha così una maggior efficienza termica. Un dispositivo per l'avviamento a freddo è necessario solo in caso di temperature esterne molto basse. Tale dispositivo è utilizzato per ridurre l'emissione di sostanze nocive nell'avviamento a freddo e nel riscaldamento. Il vantaggio principale dei motori a iniezione diretta, rispetto ai motori a iniezione indiretta, consiste in una riduzione del 20% del consumo di carburante. Questo vantaggio fa sì che, attualmente, i nuovi veicoli omologati siano equipaggiati tutti con motori a iniezione diretta.

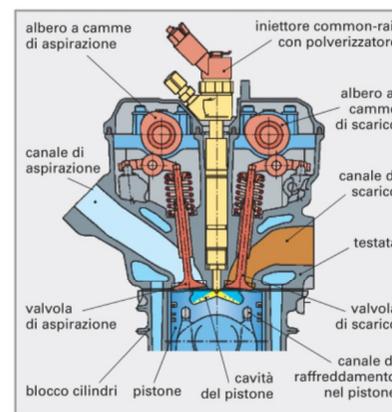


Figura 1: Motore Diesel a iniezione diretta

12.6 Impianti ausiliari per l'avviamento

Hanno il compito di facilitare l'avviamento del motore Diesel a freddo e di garantire un regime del minimo omogeneo e stabile, riducendo le emissioni di sostanze nocive.

Al diminuire della temperatura esterna, diminuisce anche la facilità di avviamento dei motori Diesel. Le pressioni di compressione e le perdite di calore, generate dalle pareti fredde della camera di combustione, abbassano la temperatura di compressione. L'avviamento senza impianti ausiliari in queste condizioni non è quindi possibile. Inoltre, aumentano le emissioni di sostanze nocive. Nelle autovetture si utilizzano, come impianti ausiliari per l'avviamento, principalmente candele ad incandescenza. La spirale incandescente oppure le flange di riscaldamento nel collettore di aspirazione sono ormai meno frequenti.

12.6.1 Candele ad incandescenza a perno

Le candele ad incandescenza sono suddivise in tre tipologie:

- candele a perno con autoregolazione (acciaio);
- candele a perno con comando elettronico (acciaio o ceramica);
- candele a perno con sensore di pressione.

Candele a perno con autoregolazione

Struttura. Si compongono di una serie di spirali di regolazione e di riscaldamento in filo di nickel (fig. 2). Entrambe le spirali hanno un coefficiente di temperatura positivo (PTC), ma presentano un diverso comportamento.



Figura 2: Struttura delle candele a perno con autoregolazione

Autoregolazione. Durante la fase di pre-incandescenza, la corrente che attraversa il perno di collegamento e le spirali di regolazione e di riscaldamento è elevata. Le spirali si riscaldano velocemente e determinano l'incandescenza della zona di riscaldamento. Con l'aumentare del calore che si diffonde, aumenta la resistenza elettrica della spirale di regolazione. La corrente è ridotta sino ad evitare il surriscaldamento del perno.

Le **candele a perno con autoregolazione** hanno generalmente una tensione nominale di esercizio pari a 11,5V. Dopo 2-7 secondi raggiungono la temperatura di incandescenza necessaria per innescare l'accensione pari a 850 °C. L'incandescenza prosegue quindi attraverso il comportamento PTC della spirale di regolazione, con una temperatura d'inerzia inferiore. Il consumo di potenza è compreso tra 100 e 120 W.

Impianto di avviamento e regolazione dei tempi di incandescenza (fig. 1, pag. 315). È utilizzato per commutare le candele collegate in parallelo in modo tale che l'impianto di pre-riscaldamento agevoli la formazione della miscela.

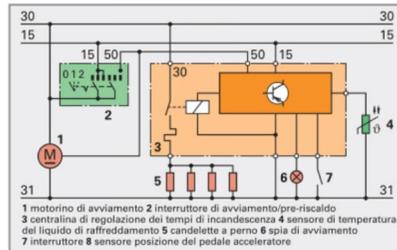


Figura 1: Impianto di avviamento ad incandescenza con regolazione dei tempi di incandescenza

Struttura. È composto fondamentalmente da un dispositivo elettronico per il decorso dell'incandescenza, da una spia di controllo e dal relè di potenza per la commutazione delle correnti delle candele.

Funzionamento. Il processo di incandescenza avviene in tre fasi (fig. 2):

- pre-riscaldamento;
- riscaldamento all'avviamento;
- post-riscaldamento.

Pre-riscaldamento. Quando il blocchetto di accensione è portato in posizione 1 (morsetto 15), il tempo è calcolato dalla centralina di regolazione dei tempi di incandescenza tramite il sensore di temperatura del liquido di raffreddamento. Se le temperature sono superiori ai 60 °C, non avviene il pre-riscaldamento.

Riscaldamento all'avviamento. A seguito dell'attivazione, la spia di pre-riscaldamento si attiva per 5 secondi. In questa fase deve avvenire l'avviamento. Il collegamento attraverso il morsetto 50 garantisce l'incandescenza per la durata dell'avviamento.

Post-riscaldamento. Dopo l'avviamento a freddo inizia il post-riscaldamento. Se l'interruttore del minimo è aperto e si riconosce un carico motore, il processo di riscaldamento si interrompe. Se il motore ritorna al minimo, ricomincia. Il post-riscaldamento viene interrotto a fronte di temperature del liquido di raffreddamento superiori a 60 °C oppure nel caso di un tempo di post-riscaldamento superiore ai 180 secondi.

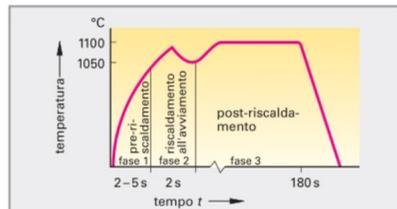


Figura 2: Decorso del riscaldamento

Candele a perno con comando elettronico

La lunghezza della spirale di regolazione è ridotta per ottenere tempi di riscaldamento contenuti (fig. 3).



Figura 3: Candele a perno con comando elettronico in acciaio

I perni ad incandescenza progettati per una tensione nominale di 5-8 V ricevono per un breve lasso di tempo un segnale in PWM con una sovratensione di 11 V. Nel giro di 1-2 secondi si raggiungono temperature pari a 1000 °C in cui è possibile avviare senza problemi il motore senza ritardo da pre-riscaldamento, anche con temperature molto basse. Nella centralina sono impiegati dei semiconduttori di potenza per il comando della candele che sostituiscono i relè elettromagnetici tradizionali. Risulta così possibile pilotare, monitorare e diagnosticare ogni singola candela (fig. 4).

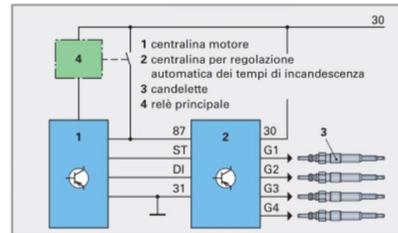


Figura 4: Sistema di riscaldamento con comando elettronico

L'alimentazione in PWM delle candele dei singoli cilindri avviene con uno sfasamento (fig. 5) per sgravare la tensione della rete di bordo, ovvero viene sempre pilotata una candela alla volta per un breve periodo e poi si passa a quella successiva e così via.

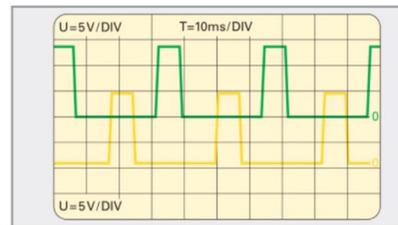


Figura 5: Alimentazione in PWM della candela

Candele in ceramica con comando elettronico

Queste candele si distinguono per un perno in ceramica montato sul tubo guida.



Figura 1: Candela in ceramica

Struttura. Il riscaldatore si compone di una ceramica piena, che è un conduttore elettrico. Questa ceramica presenta sulla superficie una resistenza specifica più elevata rispetto al materiale interno, che è un conduttore di ritorno. In questo modo subentra l'incandescenza solo sulla sommità del perno ad incandescenza e le temperature necessarie (le massime arrivano sino a 1250 °C) sono raggiunte ancora più velocemente. In questo modo, sono agevolate le funzionalità di risparmio di carburante come il sistema stop/start.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Attenzione: anche una caduta da un'altezza contenuta e/o una sbeccatura durante il montaggio può causare delle microfessure invisibili al corpo della candela che ne compromettono la corretta funzionalità.

Candele a perno con sensore di pressione

Le candele con sensore di pressione (PSG, Pressure Sensor Glow Plug), rispetto a quelle usate in passato, permettono di misurare la pressione all'interno della camera di combustione.

Struttura (fig. 2). Il perno di riscaldamento è montato in posizione assialmente mobile e trasferisce la pressione del cilindro attraverso un'asta di pressione a una membrana. Un particolare soffiato funge da guarnizione del perno mobile.

Funzione. La deformazione della membrana viene rilevata attraverso una variazione della resistenza ed elaborata da un'elettronica integrata. Il segnale di tensione calcolato è inviato alla centralina per un'ulteriore rielaborazione.



Figura 2: Candela con sensore di pressione

Combustione guidata dalla pressione per cilindro. Il sistema PSG adegua il punto di iniezione e l'andamento della pressione durante la combustione in modo ottimale alle diverse qualità del carburante

e alle percentuali di ricircolo del gas di scarico. L'andamento della combustione è rilevato in base al segnale di pressione e al segnale di regime motore. La fig. 3 mostra l'andamento del segnale. La linea blu mostra il segnale di pressione misurato da una candela PSG di un cilindro. La curva rossa mostra l'andamento della corrente di un iniettori piezoelettrico con due pre-iniezioni e un'iniezione principale.

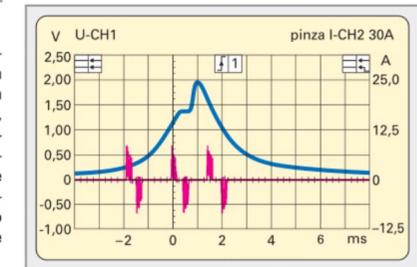


Figura 3: Andamento del segnale della candela con sensore di pressione

A seconda dello scostamento tra il valore reale rispetto a quello di riferimento, sono calcolati valori di correzione per una corretta combustione. La centralina, quindi, adegua costantemente l'iniezione di carburante, la pressione di carico e la percentuale di ricircolo del gas di scarico. In questo modo, è possibile diminuire i consumi e le emissioni di sostanze nocive, a fronte di un aumento contestuale della potenza.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Smontaggio delle candele a perno. Attenersi alle coppie di smontaggio e serraggio indicate. Tra il perno della candela e la testata è presente della calamita, formata a causa delle elevate pressioni di combustione. Per questo motivo, la procedura di smontaggio potrebbe risultare difficoltosa. Se la candela non si svita applicando la coppia prescritta, scaldare il motore ed eventualmente utilizzare un solvente apposito. Solo ora è possibile smontare le candele a perno.

Montaggio delle candele a perno. Prima di montare le candele a perno, è necessario pulire con uno alesatore specifico il canale di incandescenza.

Test funzionale. Le candele possono essere alimentate solo con la tensione prescritta. La loro funzionalità può essere verificata con un tester specifico.

12.6.2 Flangia di riscaldamento

Per abbreviare ulteriormente la fase di riscaldamento, si monta una flangia di riscaldamento nel canale di aspirazione oltre alle candele presenti nella testata (fig. 1, pag. 317).

Struttura. Sui riscaldatori elettrici, che consistono in una ceramica funzionale con coefficiente di temperatura positivo (PTC), sono posizionate delle lamelle di alluminio per dissipare meglio il calore.

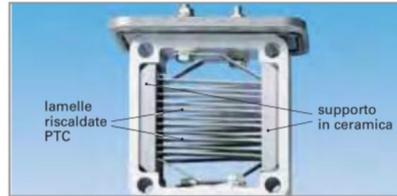


Figura 1: Flangia di riscaldamento PTC

Funzione. Riscaldando l'aria aspirata, diminuisce la durata della fase di riscaldamento, riducendo le emissioni nocive e il consumo di carburante.

12.7 Impianti di iniezione per motori Diesel leggeri

Svolgono le seguenti funzioni:

- mettono a disposizione la pressione di iniezione necessaria;
- iniettano il quantitativo di carburante necessario (regolazione della quantità);
- impostano l'inizio necessario dell'iniezione (regolazione dell'inizio della combustione).

Per rispettare i valori delle emissioni, gli impianti di iniezione a comando elettronico spruzzano il carburante in modo sempre più preciso e con pressioni sempre più elevate. Le pompe di iniezione in linea e rotative a comando meccanico non soddisfano più i requisiti delle norme e per questo motivo sono quasi sparite dal mercato.

Oltre al Common Rail, nelle autovetture si distinguono i seguenti sistemi:

- sistemi iniettore-pompa;
- pompa di iniezione rotativa a pistoncini assiali;
- pompa di iniezione rotativa a pistoncini radiali.

12.7.1 Comando elettronico dei diesel (EDC)

Grazie a sistemi di iniezione comandati elettronicamente sulla base di diagrammi caratteristici (EDC = Electronic Diesel Control), si raggiunge una regolazione precisa dell'iniezione e del dosaggio del carburante.

Vantaggi di un sistema di iniezione diesel regolato da diagrammi caratteristici

- Rispetto dei limiti di emissione dei gas di scarico.
- Riduzione del consumo di carburante.
- Ottimizzazione di coppia e potenza.
- Miglior risposta all'accelerazione.
- Riduzione della rumorosità del motore.
- Funzionamento più regolare del motore.
- Cruise control instabile in seguito.
- Possibilità di adattare un solo tipo di motore su veicoli diversi.

Struttura

- **Sensori.** Rilevano i valori di funzionamento, come carico, regime, temperature del motore e i dati sulle condizioni ambientali, come la temperatura dell'aria aspirata e la pressione atmosferica.
- **Centralina elettrica.** È un microcomputer che, in funzione dei valori di funzionamento, delle condizioni ambientali e in considerazione dei valori nominali memorizzati nei diagrammi caratteristici, determina la quantità e il punto di iniezione, il quantitativo dei gas di ricircolo e la pressione di sovralimentazione.
- **Attuatori.** Consentono di intervenire sull'impianto di iniezione, sul sistema di ricircolo dei gas di scarico e sul sistema di sovralimentazione.

Funzione di una regolazione sulla base di diagrammi caratteristici

Principali grandezze di comando. A seconda delle due principali grandezze di comando, carico e regime, la centralina calcola l'inizio dell'iniezione di base e una quantità di carburante da iniettare sulla base dei diagrammi caratteristici. Segnale di carico e regime sono rilevati tramite sensori: il primo sul pedale acceleratore, il secondo posizionato sull'albero motore.

Grandezze di comando di correzione. Adegua in maniera ottimale i tempi di iniezione di base alle varie situazioni di guida e alle condizioni ambientali. Per ogni grandezza di comando di correzione, nella centralina sono salvati ulteriori diagrammi caratteristici, per esempio per:

- la temperatura del motore;
- la temperatura del carburante;
- la pressione di sovralimentazione;
- la temperatura dell'aria aspirata.

Confronto valori reali/di riferimento. I sensori informano la centralina se l'intervento del sistema di comando è stato sufficiente. La centralina comanda successivamente i singoli attori.

Peculiarità. Le seguenti funzioni possono essere applicate tramite l'EDC ai singoli veicoli.

- **Regolazione del minimo.** Per contenere le emissioni e i consumi, il regime del minimo è impostato al valore più basso possibile, indipendente-

mente dalla richiesta di coppia, per esempio, dal compressore del climatizzatore e dal generatore.

- **Decelerazione in cut-off.** In fase di rilascio, durante una discesa in un tratto di montagna, la quantità di iniezione è ridotta a zero.
- **Regolazione della stabilità di funzionamento del motore (fig. 1).** Non tutti i cilindri di un motore, nonostante la stessa quantità di iniezione, generano la stessa coppia.

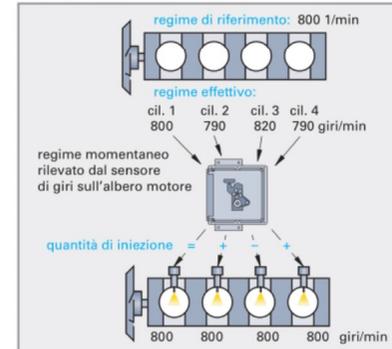


Figura 1: Controllo stabilità di funzionamento del motore

Possibili cause sono l'usura e le tolleranze di fabbricazione dei componenti. Così, per ogni cilindro sono generati regimi momentanei diversi nel ciclo di lavoro. La stabilità di funzionamento del motore è ridotta e, quindi, aumentano le emissioni. Il controllo della stabilità di funzionamento del motore rileva la situazione in base a un'accelerazione dell'albero motore tramite il sensore di giri motore e compensa l'accelerazione tramite un adeguamento mirato della quantità di carburante iniettato in ogni singolo cilindro.

- **Anti-segheamento attivo (fig. 2).** In caso di spostamento repentino del carico, per esempio in salita, il cambio di regime del motore può determinare dei saltelli (segheamento) nel gruppo propulsore del veicolo. Queste oscillazioni vengono rilevate sulla base del segnale di giri motore e smorzate tramite una regolazione attiva. Per contrastare le oscillazioni del regime motore,

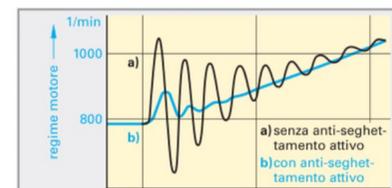


Figura 2: Anti-segheamento attivo

la quantità di iniezione viene ridotta in salita e aumentata in discesa.

- **Correzione esterna della coppia.** Sul tempo di iniezione influiscono altre centraline, come la centralina del cambio, l'ASR e l'ESP. Indipendentemente dai comandi del conducente, queste centraline comunicano alla centralina motore tramite la rete di bordo se e di quanto, in caso di correzione, la coppia motore deve essere modificata.
 - **Immobilizer elettronico.** Per evitare che la vettura venga utilizzata da persone non autorizzate, il consenso all'avviamento può essere fornito solo dalla centralina motore.
 - **Cruise control.** Mantiene la velocità del veicolo al valore desiderato dal conducente. La quantità di iniezione viene aumentata o diminuita sino a quando la velocità reale corrisponde alla velocità di riferimento impostata.
 - **Correzione altimetrica.** A fronte di un aumento dell'altitudine la pressione atmosferica diminuisce. In questa situazione diminuisce anche il riempimento dei cilindri con aria per la combustione. Aumentando la pressione di carico e/o riducendo la quantità di iniezione, è possibile compensare le forti emissioni di fumo che ne conseguono. La pressione atmosferica rilevata dal sensore presente nella centralina. La pressione atmosferica influisce anche sulla limitazione dei giri.
 - **Regolazione della velocità massima (taglio di alimentazione).** Il compito della regolazione della velocità massima consiste nel proteggere il motore da regimi troppo elevati. Riducendo la quantità di carburante da iniettare nel modo più graduale possibile, si evita che il motore "strappi" in accelerazione quando interviene il controllo (funzione di rampa).
 - **Diagnostica.** I segnali in ingresso e in uscita sono sottoposti a verifica. Gli eventuali errori rilevati vengono salvati in centralina ed eventualmente segnalati al conducente.
 - **Limitazione della coppia.** Per proteggere i componenti del gruppo propulsore, è possibile limitare la coppia massima. In questo modo le curve di coppia non presentano dei picchi, ma mostrano una curva costante per un lungo intervallo di giri motore.
- Funzione di recovery.** A seconda dell'errore presente, la centralina lancia un programma di emergenza. Si distingue tra:
- ⇒ **riduzione della potenza al 30%**, per esempio in assenza delle grandezze di comando e di correzione;
 - ⇒ **innalzamento del regime di minimo**, per esempio quando mancano le principali grandezze di comando;
 - ⇒ **spegnimento di emergenza**, per esempio se c'è il pericolo di un danno al motore.

12.7.2 Sistemi Common Rail

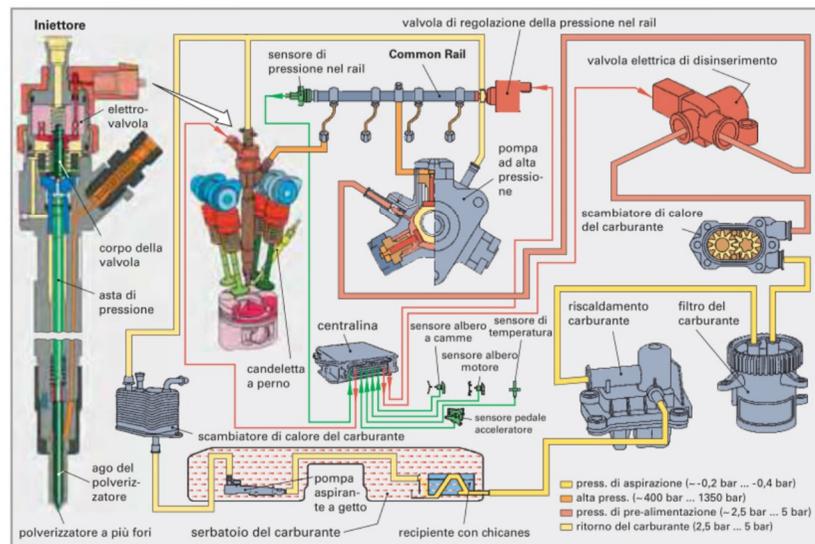


Figura 1: Impianto di iniezione Common Rail di 1ª generazione

Nel sistema common rail, il carburante è immagazzinato ad alta pressione nel rail e poi iniettato tramite degli iniettori nelle camere di combustione.

Struttura. Il sistema di iniezione dell'impianto Common Rail di 1ª generazione (fig. 1) si compone di:

- **circuito a bassa pressione;** è composto da un settore di aspirazione del carburante, da uno di pre-alimentazione e dal ritorno. Comprende il serbatoio, il dispositivo di preriscaldamento del combustibile, il filtro, la pompa di alimentazione, l'elettrovalvola di disinserimento e lo scambiatore di calore;
- **circuito ad alta pressione;** è composto dalla pompa ad alta pressione, dalle tubazioni, dal rail e da un iniettore per ogni cilindro;
- **comando elettronico;** comprende la centralina elettronica, i sensori, la valvola di regolazione dell'alta pressione, gli elettroiniettori e la valvola di disinserimento.

Funzionamento. Il carburante è trasportato dalla pompa di alimentazione del serbatoio, passando per il dispositivo di pre-riscaldamento del combustibile, il filtro e l'elettrovalvola di disinserimento, sino alla pompa ad alta pressione. A seconda del carico e del regime, la pressione del rail è im-

posta tramite una valvola di regolazione della pressione sulla base del diagramma caratteristico. Gli iniettori spruzzano il carburante direttamente nella camera di combustione. Grazie al serbatoio di accumulo del rail, la generazione di pressione risulta separata dall'iniezione, che può pertanto avvenire in maniera indipendente rispetto alla posizione del pistone nel motore. A seconda del regime motore e del carico motore, la pressione nel rail è impostata in base al diagramma caratteristico (fig. 2).

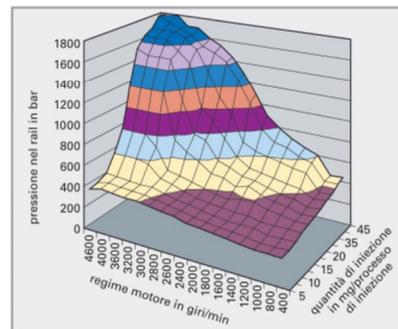


Figura 2: Diagramma caratteristico dei valori di riferimento della pressione nel rail

La centralina EDC, a seconda delle condizioni di esercizio e della situazione, calcola le seguenti grandezze relative all'iniezione:

- inizio dell'iniezione;
- quantità di iniezione;
- pressione nel rail;
- andamento dell'iniezione, per esempio pre-iniezione, iniezione principale, post-iniezione.

Nella fig. 2 a pag. 319 è raffigurato un diagramma caratteristico dei valori di riferimento della pressione nel rail. In caso di accelerazione al minimo (senza carico motore), aumenta, secondo il diagramma caratteristico, solo la pressione nel rail, mentre la durata di iniezione rimane pressoché costante. A fronte di un aumento del carico motore e di regimi bassi, aumentano la quantità di iniezione e la pressione nel rail. La pressione di iniezione massima, in questo caso di 1800 bar, è necessaria in presenza di carichi e regimi elevati per poter iniettare in breve tempo l'intera quantità di carburante.

Regolazione della pressione

Nei sistemi Common Rail si distinguono seguenti tipologie di regolazione.

Regolazione a singolo attuatore (lato alta pressione o lato aspirazione). La pressione viene regolata tramite un singolo attuatore montato sul lato di alta pressione o di aspirazione.

Regolazione a doppio attuatore (lato alta pressione e lato aspirazione). La regolazione della pressione è gestita da due attuatori montati sul lato di alta pressione e sul lato di aspirazione.

Regolazione a singolo attuatore, lato alta pressione (fig. 1)

Funzione. La pompa ad alta pressione mette a disposizione la massima portata indipendentemente dal carburante necessario. La pressione nel rail è regolata sul lato di alta pressione tramite una valvola di regolazione della pressione (regolazione dell'alta pressione). Il carburante non necessario per l'iniezione fluisce ancora nel serbatoio, passando dalla valvola di regolazione della pressione nel circuito di bassa pressione.

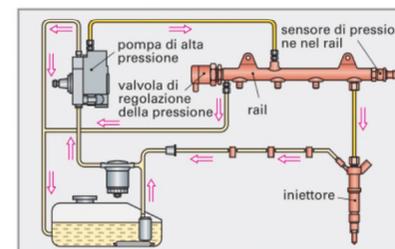


Figura 1: Regolazione a singolo attuatore sul lato alta pressione

La valvola di regolazione della pressione è generalmente montata sul rail. In alcune case automobilistiche è posizionata anche direttamente sulla pompa. Grazie alla regolazione della pressione sul lato di alta pressione è possibile adeguare rapidamente la pressione nel rail (cambi di carico repentini).

Regolazione a singolo attuatore, lato aspirazione (fig. 2)

Funzione. La pressione nel rail è regolata tramite l'unità di dosaggio sul lato di aspirazione (regolazione della bassa pressione). L'unità di dosaggio è installata sulla mandata della pompa di alta pressione e fa sì che alla pompa di alta pressione arrivi solo la quantità di carburante strettamente necessaria per l'iniezione (regolazione del carburante necessario). Una valvola di limitazione della pressione impedisce che la pressione nel rail diventi troppo elevata nel caso ci fosse un'avaria dell'unità di dosaggio. La quantità di carburante sotto pressione è inferiore grazie alla regolazione della pressione sul lato di aspirazione. In questo modo si riducono la temperatura del carburante e l'assorbimento di potenza della pompa ad alta pressione.

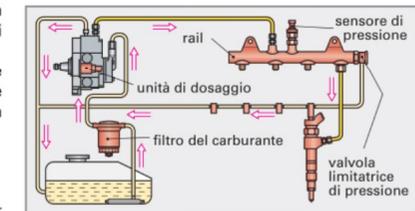


Figura 2: Regolazione della pressione sul lato aspirazione

Regolazione a doppio attuatore (fig. 3)

Con questa regolazione, sulla pompa è montata un'unità di dosaggio, mentre sul rail è installata una valvola di regolazione della pressione (fig. 3). A seconda delle condizioni di esercizio del motore, le valvole sono pilotate singolarmente o insieme (fig. 1, pag. 321).

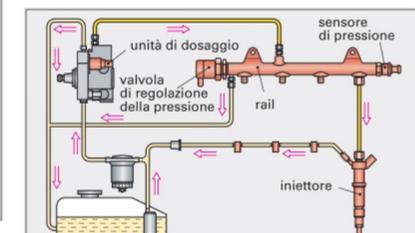


Figura 3: Regolazione a doppio attuatore

Tipologie di funzionamento

Avviamento. All'avviamento del motore, il sistema funziona solo con la valvola di regolazione della pressione sul lato di alta pressione. In questo modo, si genera rapidamente pressione. La pompa mette sotto pressione più carburante di quanto ne sia iniettato: il carburante subisce un innalzamento della temperatura e si può così evitare di riscaldare il carburante.



Figura 1: Diagramma caratteristico di una regolazione a doppio attuatore

Minimo, carico parziale. La pressione del carburante è regolata simultaneamente, in modo molto preciso, tramite entrambe le valvole. Migliora così la qualità del minimo e della transizione nella fase di rilascio. Allo stesso tempo, la potenza della pompa viene ridotta minimamente.

Carico medio-elevato. Con quantità di iniezione elevate e alte pressioni nel rail, la pressione del carburante è regolata attraverso l'unità di dosaggio. Una gestione oculata della pressione del carburante diminuisce l'assorbimento di potenza della pompa ad alta pressione, evitando il surriscaldamento del combustibile.

Componenti

Pompa di pre-alimentazione. Fornisce carburante alla pompa di alta pressione. Sono impiegate elettropompe di alimentazione del carburante, pompe a ingranaggi e una combinazione delle due.

Elettropompa di alimentazione del carburante. In quanto parte integrante del modulo del serbatoio, generalmente è montata sul serbatoio (pompa immersa nel serbatoio) oppure sul tubo di alimentazione (pompa posta sul tubo di alimentazione). Per generare rapidamente una pressione compresa tra 3 e 7 bar nel circuito a bassa pressione, la pompa si avvia già all'apertura della porta lato guida e/o all'accensione del quadro strumenti. Ha una portata tra i 40 e i 500 l/h ed è autospurgante.

Le pompe a ingranaggi sono trascinate dall'albero a camme, la portata è proporzionale al regime motore e può arrivare sino a 250 l/h. La pressione è mantenuta costante (7 bar sul lato di alta pressione) da una valvola limitatrice di flusso. Quando il carburante è caldo, a bassi regimi delle pompe e del motore, la portata delle pompe a ingranaggi diminuisce parecchio.

Sistemi combinati. Si compongono di una elettropompa di alimentazione del carburante a ingranaggi e garantiscono un miglior comportamento nell'avviamento a caldo.

Pompa ad alta pressione (fig. 2). Invia il carburante sotto pressione fino a circa 2500 bar nel rail. In genere, è una pompa rotativa a pistoncini radiali, i quali sono azionati dagli eccentrici messi in movimento dall'albero di comando, il cui azionamento avviene tramite cinghia dentata e/o ruota dentata oppure direttamente dall'albero a camme.



Figura 2: Pompa ad alta pressione CP3 con unità di dosaggio e pompa di pre-alimentazione ad ingranaggi

Corsa di aspirazione (fig. 3). Se la pressione di mandata supera la pressione di apertura della valvola di aspirazione, il carburante fluisce nella camera di compressione in cui il pistone della pompa discende verso il basso.

Corsa di mandata (fig. 3). Se si supera il PMI del pistone della pompa, la valvola di aspirazione si chiude e il carburante non può più fuoriuscire. Il pistone della pompa sporgente verso l'esterno mantiene il carburante sotto pressione sino a quando non è superata la pressione del rail. La valvola di scarico si apre e il carburante arriva nel rail.

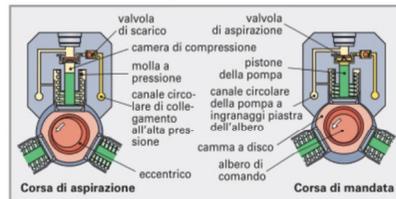


Figura 3: Corsa di aspirazione e di mandata

Pompa ad alta pressione a uno o due pistoni (figg. 1 e 2, pag. 322)

Per poter rispettare le normative sempre più severe riguardo alle emissioni si ricorre alle pompe a uno o due pistoni. Queste pompe ad alta pressione garantiscono una quantità di iniezione omogenea per tutti i cilindri. Gli iniettori si aprono, quindi, allo stesso livello di pressione. Per consentire ciò, le corse delle pompe sono pilotate in modo sincrono

rispetto alle corse dei pistoni del motore; in questo modo, i pistoni delle pompe e i pistoni del motore si spostano simultaneamente verso l'alto e verso il basso.

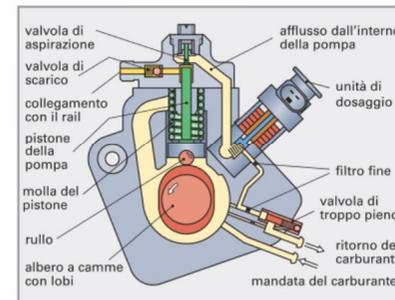


Figura 1: Pompa ad alta pressione a un pistone CP4 con unità di dosaggio

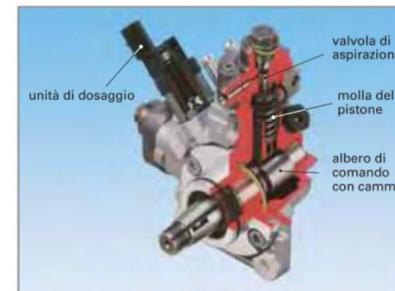


Figura 2: Pompa ad alta pressione a due pistoni CP4 con unità di dosaggio

La pompa ad alta pressione CP4 presenta un corpo in alluminio che comporta una notevole riduzione dei pesi. Solo gli elementi della pompa e le testate dei cilindri ad alta pressione sono realizzati in acciaio. L'azionamento delle camme con punterie a rulli riduce le perdite di potenza grazie agli attriti più contenuti, determinando una riduzione dei consumi.

Unità di dosaggio

L'unità di dosaggio (fig. 1) è integrata nella pompa ad alta pressione. Regola la quantità di carburante necessaria per la generazione dell'alta pressione.

Funzione. In assenza di alimentazione, l'unità di dosaggio è aperta. Per ridurre l'afflusso nella camera di compressione, l'unità di dosaggio è comandata dalla centralina motore con un segnale in PWM. La posizione del pistone di bloccaggio e, quindi, anche l'afflusso del carburante nella camera di com-

pressione della pompa ad alta pressione variano a seconda del duty-cycle.

Valvola di regolazione della pressione (fig. 2)

Può essere montata sul rail o sulla pompa ad alta pressione.

La pressione nel rail viene impostata e mantenuta costante a seconda delle condizioni di carico e delle condizioni di esercizio del motore.

Funzione. L'elettrovalvola è trattenuta nella sua sede dalla molla della valvola e separa, quindi, ermeticamente il lato di alta pressione (rail) rispetto al lato di bassa pressione (ritorno). La molla è tarata in modo da garantire una pressione di 100 bar quando la valvola di regolazione della pressione non è pilotata. Per aumentare la pressione nel rail, è generata una forza magnetica che si aggiunge a quella della molla. Tramite un segnale in PWM, la pressione nel rail al minimo raggiunge i 400 bar e a pieno carico i 2000 bar.

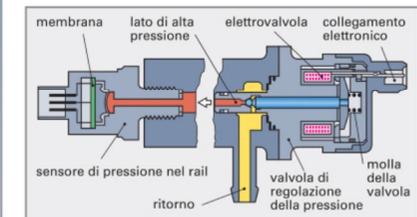


Figura 3: Sensore di pressione e valvola di regolazione della pressione nel rail

Dato che la capacità di accumulo del rail è maggiore rispetto alla quantità di iniezione e/o la mandata della pompa, la pressione nel rail rimane quasi costante. La frequenza di ciclo di 1 kHz è così elevata che non possono subentrare dei movimenti ad ancora e, quindi, nemmeno delle oscillazioni di pressione. In caso di avaria della valvola di regolazione della pressione, non è possibile avviare il motore perché il carburante non dispone di una pressione sufficiente per l'iniezione.

Sensore di pressione nel rail (fig. 3). È posizionato sul rail. La pressione nel rail è rilevata dal sensore e comunicata alla centralina come segnale di tensione tramite un'elettronica di elaborazione integrata. La tensione di alimentazione del sensore è pari a 5V. La tensione del segnale è pari a circa 4,5V con alta pressione e a circa 0,5V con bassa pressione. In caso di assenza del segnale, la valvola di regolazione della pressione è impostata su un valore fisso e viene avviata una recovery (innalzamento del regime di minimo).

Valvola di limitazione della pressione

Nei sistemi Common Rail con regolazione a singolo attuatore per unità di dosaggio (fig. 2, pag. 320) tale valvola è impiegata sulla pompa ad alta pressione. La valvola di limitazione della pressione è montata sul rail (fig. 1). In caso di avaria dell'unità di dosaggio, la pressione nel rail è limitata a circa 2500 bar perché viene aperto un foro di sfogo. Sono impiegate valvole di limitazione della pressione a uno o a due stadi.

- **Valvola a uno stadio.** Serve per proteggere il componente. Il motore si spegne quando è attivata la valvola.
- **Valvola a due stadi.** Il motore continua a girare perché nel rail rimane una determinata pressione residua, per esempio 400 bar. È possibile continuare il percorso con un chilometraggio limitato e con un innalzamento del regime di minimo.

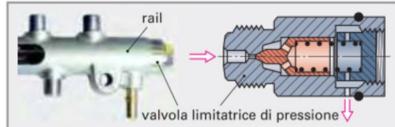


Figura 1: Rail con valvola di limitazione della pressione a uno stadio

Rail

Il rail ha il compito di immagazzinare il carburante sotto elevata pressione e compensare eventuali oscillazioni di pressione.

È un tubo in acciaio spesso e/o una "sfera d'acciaio" ('Common Ball', fig. 2) con collegamenti per i tubi del carburante, il sensore di pressione e, eventualmente, la valvola di regolazione della pressione e/o la valvola di limitazione della pressione.



Figura 2: Common Ball

Iniettori con elettrovalvola (fig. 3)

Struttura. L'iniettore si compone dei seguenti elementi: elettrovalvola, camera di comando della valvola, pistone di comando della valvola e polverizzatore.

Funzione

Iniettore chiuso (posizione di riposo). Il carburante arriva nella camera di comando della valvola trami-

te la mandata del carburante e sino alla superficie anulare del polverizzatore. La strozzatura di riflusso è chiusa dalla sfera della valvola. La pressione esercitata sul pistone di comando è superiore a quella esercitata sulla superficie anulare del polverizzatore. L'ago del polverizzatore rimane chiuso, indipendentemente dalla pressione nel rail presente nell'iniettore.

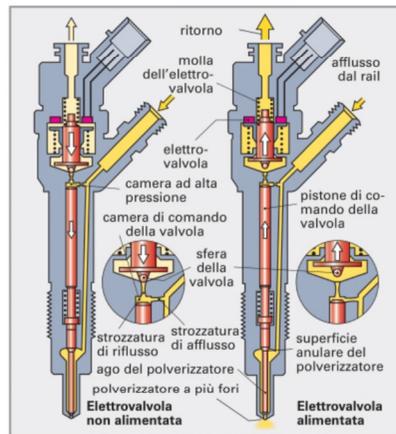


Figura 3: Funzionamento dell'iniettore

Apertura dell'iniettore (inizio dell'iniezione). Quando l'elettrovalvola è eccitata dalla centralina, la valvola apre la strozzatura di riflusso, da cui fuoriesce più carburante rispetto a quanto ne affluisce dalla strozzatura di mandata. In questo modo si ha una caduta della pressione nella camera di comando della valvola. L'ago del polverizzatore, sollevato dalla forza che agisce sulla sua superficie anulare, si apre e la miscela è così iniettata

Chiusura dell'iniettore (fine dell'iniezione). Quando l'elettrovalvola non è più eccitata dalla centralina, la molla spinge la sfera della valvola nella sede. La strozzatura di riflusso così si richiude e nella camera di comando della valvola si ripristina immediatamente la pressione del rail. La forza sul pistone di comando della valvola e la forza della molla del polverizzatore, che agiscono dall'alto, superano la forza sulla superficie anulare dell'ago del polverizzatore, che agisce dal basso. Si chiude così l'ago del polverizzatore. L'ago del polverizzatore si apre e si chiude tramite la pressione di sistema. Questa gestione dell'ago del polverizzatore è necessaria per generare rapidamente le forze necessarie ad aprire l'ago, dato che un'elettrovalvola non ne sarebbe in grado.

Comando degli iniettori

Per suddividere l'iniezione in tre parti (pre-iniezione, iniezione principale e post-iniezione) sono necessarie elettrovalvole a rapida commutazione.

Fase della corrente di spunto. Affinché l'elettrovalvola si apra, la corrente deve aumentare rapidamente sino a circa 20 A per raggiungere una bassa tolleranza e un'elevata riproducibilità (precisione di ripetizione) della quantità di iniezione. Questo è possibile con una tensione di boost sino a 100 V che, creata con l'aiuto dell'induzione quando sono eccitate le elettrovalvole, è salvata nei condensatori nella centralina.

Fase della corrente di mantenimento. In questo lasso temporale, la corrente è abbassata a circa 13 A per ridurre la potenza dissipata nella centralina e nell'iniettore, dove è presente la tensione di batteria.

Spegnimento. Se il flusso di corrente è interrotto, subentra una tensione induttiva attraverso la variazione del campo elettromagnetico nella bobina dell'iniettore, con la quale è ricaricato il condensatore del booster (fig. 1).

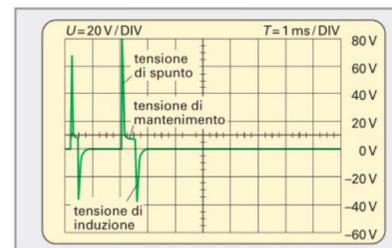


Figura 1: Andamento della corrente e della tensione dell'iniettore con elettrovalvola

Caricamento successivo del condensatore (boost).

Se l'energia del condensatore scende al di sotto del valore di soglia, una bobina dell'iniettore è pilotata brevemente, in modo che l'iniettore non si apra. La tensione indotta dallo spegnimento ricarica successivamente il condensatore (fig. 2).

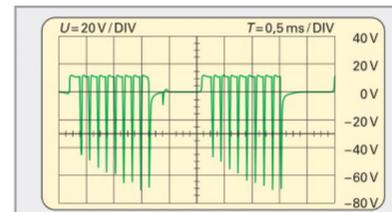


Figura 2: Caricamento successivo del condensatore (boost)

Esempio di schema elettrico di un impianto Common Rail (di 1ª generazione, fig. 2, pag. 325)

Sensore del pedale dell'acceleratore B12. Il sensore rileva la posizione del pedale dell'acceleratore (1ª principale grandezza di comando) per il calcolo della quantità di carburante. I trasduttori, che operano in maniera indipendente l'uno dall'altro, ricevono il segnale positivo di alimentazione dal PIN C9 e il segnale di massa tramite il PIN C5 e C23. Le tensioni di segnale sono presenti ai PIN C8 e C10. In caso di guasto, il regime di minimo del motore viene innalzato. La spia si accende e un errore viene salvato nella memoria.

Sensore dell'albero a camme B2. Il trasduttore comunica alla centralina la posizione del primo cilindro nella fase di compressione nonché il regime motore (2ª principale grandezza di comando). Il segnale è necessario affinché l'iniezione avvenga al momento giusto nel cilindro corretto. In caso di assenza del segnale, il motore rimane in ordine di marcia, ma non può essere avviato. Il sensore riceve il segnale di tensione dal PIN D12 e dal PIN D2. Il segnale di tensione è presente al PIN D3.

Sensore di pressione del rail B23. Comunica alla centralina la pressione del carburante attuale nel rail. Se viene rilevata una pressione nel rail troppo bassa e/o troppo elevata, la centralina riconosce un'avaria del sistema e spegne il motore (spegnimento di emergenza). Il segnale di tensione è presente al PIN D14, quello di alimentazione di tensione positiva sul PIN D13 e quello di massa sul PIN D4.

Valvola di regolazione della pressione del rail Y16. Regola la pressione nel rail sulla base di diagrammi caratteristici. Il segnale in PWM viene commutato dalla centralina tramite i PIN D31 e D21.

Iniettori Y15.1-Y15.4. Garantiscono che venga iniettata la giusta quantità di carburante nei tempi stabiliti. Vengono pilotati dalla centralina attraverso i PIN E2, E3, E6, E7 e E8.

Misuratore della massa d'aria a film caldo B3. Misura la massa d'aria aspirata, un valore con cui è definita la percentuale di ricircolo dei gas di scarico sulla base di un diagramma caratteristico. Il misuratore riceve il segnale di tensione dal PIN D34, D1 e D11. La tensione del segnale è presente al PIN D24.

Elettrovalvola di disinserimento Y14. Viene commutata dalla centralina tramite i PIN D26 e D36. In presenza di un errore di sistema grave, la valvola si chiude e si interrompe l'alimentazione di carburante (spegnimento di emergenza).

Elettrovalvola di regolazione della pressione di boost Y12. Tramite un segnale in PWM della centralina si ha una regolazione continua della pressione di sovralimentazione del compressore con turbina a geometria variabile (TGV). Viene pilotata attraverso i PIN C36 e C48.

Sensori e attuatori di un EDC con sistema common rail di 1ª generazione (fig. 1 e 2)

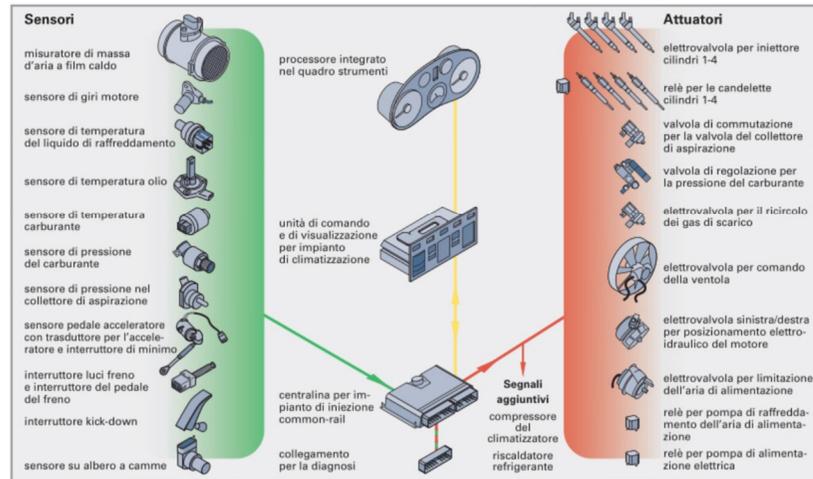


Figura 1: Schema a blocchi di un EDC con sistema Common Rail

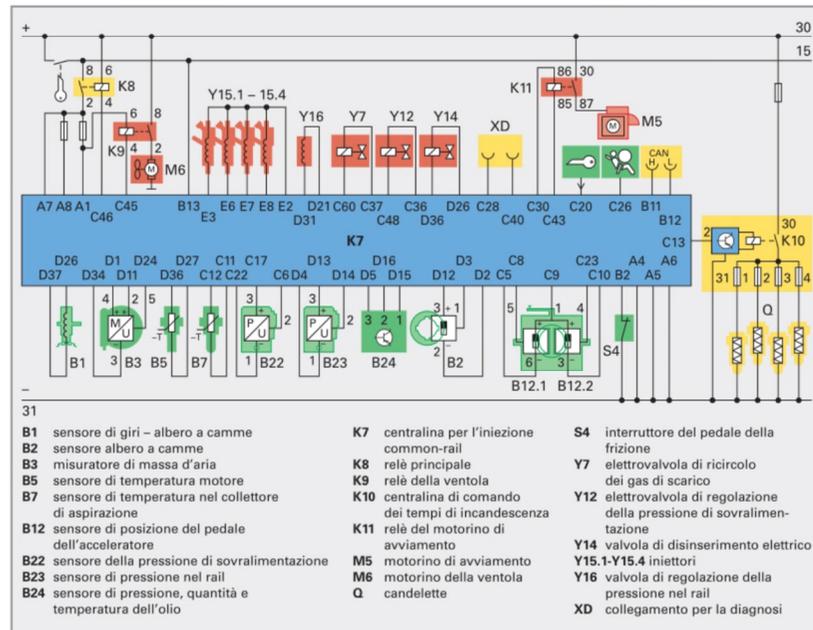


Figura 2: Schema del circuito Common Rail

12.73 Sistemi Common Rail con iniettori piezoelettrici

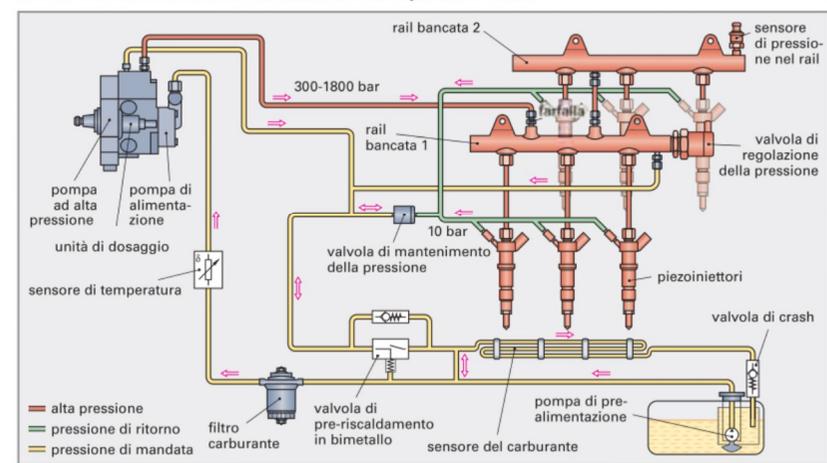


Figura 1: Impianto di iniezione Common Rail con iniettori piezoelettrici con flusso inverso

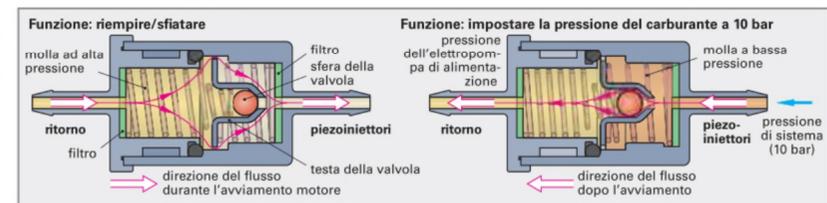


Figura 2: Valvola di mantenimento della pressione

Il sistema rappresentato nella **fig. 1** è un sistema Common Rail con iniettori piezoelettrici e una valvola di mantenimento della pressione.

Valvola di mantenimento della pressione

Per garantire una corretta funzionalità degli elettroiniettori piezoelettrici, l'accoppiatore idraulico deve avere una pressione di ritorno di 10 bar. Per generare questa pressione nel minor tempo possibile dopo l'avviamento motore, la valvola di mantenimento della pressione (**fig. 2**) è configurata come doppia valvola.

Struttura. Si compone di una valvola ad alta pressione (> 10 bar) e di una valvola a bassa pressione (< 10 bar).

Funzione. Durante l'avviamento, la pressione di ritorno della pompa ad alta pressione preme le teste delle valvole contro le molle a bassa pressione, creando così una pressione nel tubo di ritorno verso il rail. Se il motore è in funzione, genera una pressione nel carburante di rientro dagli iniettori o nel carburante di ritorno. A fronte del raggiungimento

di una pressione di ritorno di 10 bar, la valvola a sfera si apre e il carburante fluisce nel serbatoio di accumulo.

Iniettori piezoelettrici (fig. 3)

Struttura. L'elettroiniettore piezoelettrico si compone dei seguenti elementi: modulo dell'attuatore, accoppiatore idraulico, servovalvola e ago del polverizzatore.

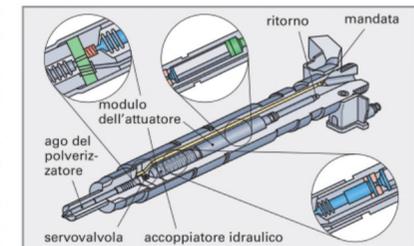


Figura 3: Piezoiniettori in linea

Modulo dell'attuatore. Si compone di diverse centinaia di piastrine piezoceramiche collegate in serie. Con l'applicazione di una corrente, i cristalli si espandono secondo la polarità oppure si contraggono. La corsa massima che possono raggiungere è pari a 0,065 mm.

Accoppiatore idraulico (fig. 1). Tramite l'accoppiatore, il diametro del modulo dell'attuatore (piastrine piezoceramiche) viene aumentato per adattarsi alla servovalvola. Inoltre, l'accoppiatore compensa variazioni nella lunghezza dovute a dilatazione da calore e restringimenti dovuti all'invecchiamento della piezoceramica.

Struttura. È dotato di due pistoni (1 e 2) con diversi diametri concentrici posizionati nello stesso cilindro. La forza del modulo dell'attuatore piezoelettrico agisce sul pistone col diametro inferiore.

Funzione. La benzina di ritorno esercita una pressione (10 bar) che mantiene entrambi i pistoni separati e fa sì che tutti i componenti nell'iniettore non abbiano gioco. In questo modo, si riduce l'usura meccanica degli iniettori. L'adeguamento del diametro per l'apertura della servovalvola avviene con la trasmissione idraulica dovuta ai due diversi diametri dei pistoni.

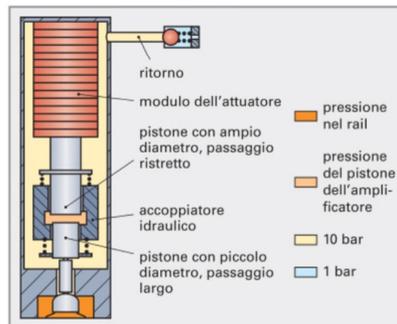


Figura 1: Struttura dell'accoppiatore idraulico

Servovalvola (fig. 2). La servovalvola è collegata quando il modulo dell'attuatore non è pilotato. La servovalvola si dilata al comando del modulo. La variazione di lunghezza viene trasferita tramite l'accoppiatore idraulico alla servovalvola aprendo il ritorno. Attraverso la strozzatura di riflusso, fuoriesce, quindi, più carburante di quanto ne affluisca attraverso la strozzatura di mandata, determinando una caduta della pressione nella camera di comando della valvola. L'ago del polverizzatore si solleva poiché ora solo una piccola pressione agisce sulla superficie anulare. Se la servovalvola si chiude, nella camera di comando si ripristina immediatamente la pressione del rail e l'ago del polverizzatore si chiude. Dato che l'ago del polverizzatore si apre e

si chiude in base alla pressione del carburante, si parla di un comando servo-idraulico.

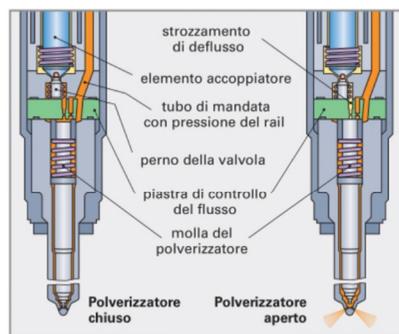


Figura 2: Servovalvola chiusa e aperta

Pilotaggio (fig. 3)

- 1-2 Il modulo dell'attuatore piezoelettrico è pilotato dalla centralina tramite un condensatore di boost con una tensione di 110-150 V e circa 13 A.
- 2-3 Il modulo dell'attuatore piezoelettrico si dilata e si comporta come un condensatore (circa 4 μ F) che viene caricato.
- 3 I cristalli piezoelettrici si sono dilatati e l'iniettore è aperto. Il modulo dell'attuatore piezoelettrico corrisponde a un condensatore carico. L'assorbimento di corrente è pari a zero.
- 3-4 Affinché il modulo dell'attuatore piezoelettrico si chiuda rapidamente, è necessario che si scarichi il più velocemente possibile. La centralina scollega la tensione e collega brevemente il circuito di corrente tramite una resistenza definita. In questo modo, la centralina scarica il modulo dell'attuatore piezoelettrico che si restringe di nuovo.

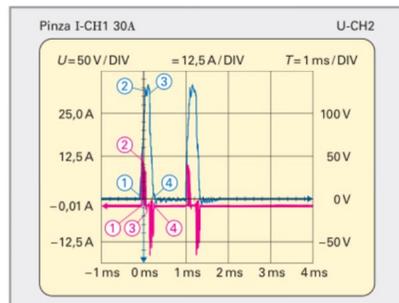


Figura 3: Andamento di tensione e corrente di un piezoiniettore in linea

Piezoiniettori a comando diretto senza flusso inverso

In questa tipologia di iniettori, non sono presenti né l'accoppiatore idraulico nell'iniettore, né il flusso inverso e nemmeno la valvola di mantenimento della pressione. Negli iniettori senza inversione di flusso, un grosso elemento piezoelettrico lungo 80 mm, collegato a un amplificatore della corsa dell'ago, attua il movimento dell'ago del polverizzatore.

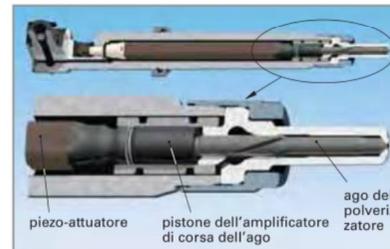


Figura 1: Iniettore senza flusso inverso

Funzione. La pressione del rail agisce tramite la superficie anulare sull'ago del polverizzatore. L'elemento piezoelettrico si restringe in maniera diversa, indipendentemente dalla tensione applicata.

Pre/post-iniezione. L'elemento piezoelettrico viene pilotato e si restringe di poco. La pressione del rail crea, tramite la superficie anulare nel corpo del polverizzatore, una forza risultante verso l'alto e apre l'ago del polverizzatore. In questo frangente la molla non viene compressa.

Iniezione principale. Per le piccole quantità di carburante della pre-iniezione e della post-iniezione, la corsa diretta attraverso l'elemento piezoelettrico è sufficiente. Per l'iniezione principale, l'elemento piezoelettrico è gestito in modo tale da creare la corsa massima. La tensione, in questo caso, dipende dalla pressione del rail e può raggiungere anche i 250 V. L'ago del polverizzatore, a questo punto, si innalza di molto. La pressione del carburante agisce, quindi, sulla superficie anulare dell'ago del polverizzatore e sulla superficie del pistone dell'amplificatore di corsa dell'ago. La molla è così compressa e avviene l'iniezione principale.

Fine dell'iniezione. Per concludere, l'elemento piezoelettrico è scaricato. La tensione dipende dalla pressione del rail e può raggiungere anche i 250 V.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Sostituzione di iniettori. Se un iniettore viene sostituito, la centralina EDC deve essere adeguata. Questo avviene attraverso la compensazione delle quantità dell'iniettore nella ricerca

guasti guidata. Su ogni iniettore è stampigliato un valore di tolleranza a diverse cifre. Il valore può essere composto da lettere e/o cifre. Il valore di compensazione delle quantità dell'iniettore è definito in fase di produzione dell'iniettore. Questo valore definisce il comportamento di iniezione dell'iniettore, a fronte di carichi e regimi motore diversi. Con il valore di compensazione delle quantità dell'iniettore, la centralina EDC può calcolare i tempi di fase necessari per l'iniezione di ogni singolo iniettore e quindi aumentare la precisione di dosaggio delle quantità.

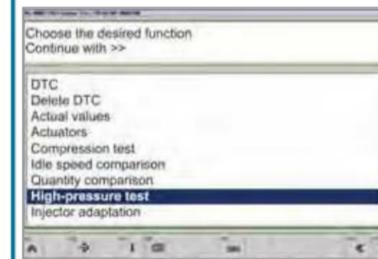


Figura 2: Codice dell'iniettore (valore di compensazione delle quantità dell'iniettore)

Particolarità del piezoiniettore

I piezoiniettori con flusso inverso devono essere sempre conservati in posizione verticale dopo lo smontaggio, onde evitare che l'accoppiatore idraulico si svuoti, dato che non è possibile riempirlo successivamente con l'attrezzatura di officina. Se i piezoiniettori non sono conservati correttamente, l'iniettore non è più utilizzabile. **Mai** interrompere il collegamento elettrico tra il piezoiniettore e la centralina motore a motore avviato: l'iniettore potrebbe bloccarsi nella posizione aperta, danneggiando così il motore.

Test di tenuta di alta pressione. È possibile testare la portata, la generazione e la diminuzione di pressione della porta ad alta pressione, nonché la tenuta interna ed esterna dell'impianto di alimentazione ad alta pressione. Con questa funzione, l'unità di dosaggio e la valvola di regolazione della pressione vengono pilotate appositamente per generare la pressione massima di sistema a un regime motore di 3500 giri/min impostato manualmente.

Possibili errori:

- generazione di pressione troppo lenta: verificare la pompa ad alta pressione, il filtro del

carburante e l'elettropompa di alimentazione del carburante;

- diminuzione di pressione troppo lenta: verificare l'unità di dosaggio;
- diminuzione di pressione troppo rapida: verificare la valvola di regolazione della pressione e la quantità di flusso inverso.

Test di compressione dinamico. Durante il test di compressione dinamico, si inibisce l'accensione del motore disattivando l'iniezione. Nel corso del test, è confrontata la compressione di ogni singolo cilindro sulla base dell'assorbimento di corrente di avviamento o di una rilevazione del regime motore.

Confronto delle quantità. Con il controllo della stabilità di funzionamento attivo, sono indicate le grandezze di correzione specifiche dei singoli cilindri (fig. 1).

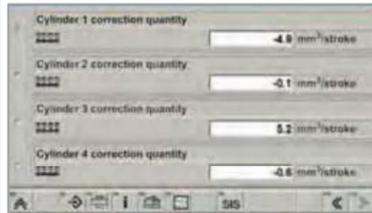


Figura 1: Confronto delle quantità

Correzione positiva delle quantità. In caso di una bassa compressione in un cilindro (perdita di potenza) o di iniettore sporco (i fori del polverizzatore sono otturati).

Correzione negativa delle quantità. In caso di perdita dell'iniettore (l'iniettore non è più a tenuta, gocciola, erosione del polverizzatore).

Calibrazione della quantità di carburante pari a zero. Con il processo di invecchiamento e l'usura dell'iniettore, aumenta il lasso di tempo che intercorre tra l'inizio del pilotaggio elettronico dell'iniettore e l'iniezione del carburante. Il prolungamento di questo lasso di tempo è rilevato e compensato dalla centralina, per esempio tramite il sensore di battito.

12.7.4 Sistema iniettore-pompa

Si tratta di un impianto di iniezione a comando elettronico in cui ogni cilindro nella testata del motore dispone di un elemento iniettore-pompa (unità iniettore-pompa, fig. 2) che consente di raggiungere pressioni sino a 2200 bar.

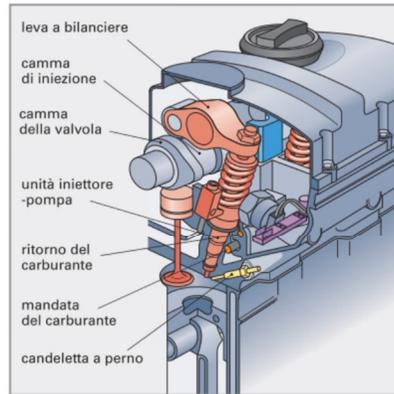


Figura 2: Elemento iniettore-pompa

Azionamento. L'albero a camme del motore prevede per ogni elemento iniettore-pompa una camma di iniezione. La corsa della camma viene trasmessa, tramite una leva a bilanciere, al pistone della pompa. La camma presenta un profilo ascendente ripido che spinge il pistone della pompa verso il basso con grande velocità. In questo modo si ottiene un'elevata pressione di iniezione. Il profilo discendente della camma è piatto. Il pistone della pompa viene spinto verso il basso lentamente e uniformemente dalla forza della molla.

Alimentazione del carburante. Una pompa di alimentazione del carburante, trascinata dall'albero a camme del motore, trasporta il carburante agli elementi dell'unità iniettore-pompa (fig. 3).

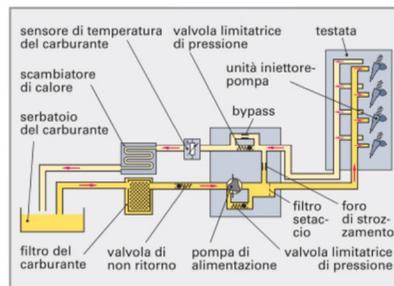


Figura 3: Alimentazione di carburante

Il carburante non necessario per l'iniezione raffredda gli elementi dell'unità iniettore-pompa. Tramite il tubo di ritorno, il carburante passa dalla testata, da un sensore di temperatura e, attraversando lo scambiatore di calore, ritorna nel serbatoio.

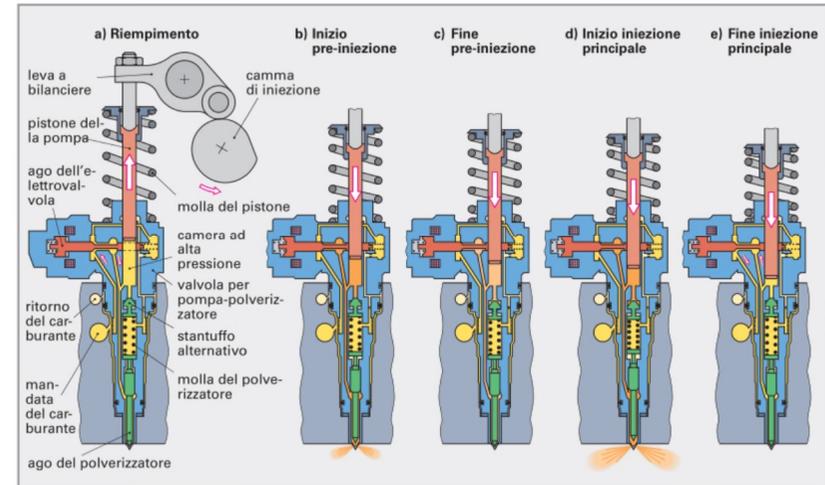


Figura 1: Fasi dell'iniezione di un elemento iniettore-pompa

Processo di riempimento (fig. 1a). Il pistone della pompa sale per la forza esercitata dalla molla del pistone e aumenta in questo modo il volume della camera ad alta pressione. L'elettrovalvola non viene pilotata. L'ago dell'elettrovalvola si trova in una posizione di riposo, lasciando libero il passaggio dalla mandata del carburante alla camera ad alta pressione. La pressione del carburante nella mandata spinge il carburante nella camera ad alta pressione.

Inizia la pre-iniezione (fig. 1b). Il pistone della pompa viene spinto verso il basso dalla leva a bilanciere in salita e sospinge quindi il carburante dalla camera ad alta pressione verso la mandata del carburante. Il processo di iniezione viene avviato dalla centralina. A tal fine, la centralina comanda l'elettrovalvola. L'ago dell'elettrovalvola viene spinto nella sede e chiude il passaggio tra la camera ad alta pressione e la mandata del carburante. Inizia così a generarsi pressione nella camera ad alta pressione. A 180 bar, la pressione è superiore alla forza delle molle del polverizzatore. L'ago del polverizzatore si solleva ed inizia la pre-iniezione.

La pre-iniezione si conclude (fig. 1c). Lo stantuffo alternativo discende, a fronte dell'aumento della pressione, e aumenta così il volume della camera ad alta pressione. La pressione scende per un istante e l'ago del polverizzatore si chiude, concludendo la pre-iniezione. Il movimento discendente dello stantuffo alternativo genera un elevato precarico nella molla del polverizzatore. Per aprire

nuovamente l'ago del polverizzatore per l'iniezione principale successiva, è necessaria una maggiore pressione del carburante rispetto alla pre-iniezione.

Inizia l'iniezione principale (fig. 1d). Poco dopo la chiusura dell'ago del polverizzatore, la pressione nella camera ad alta pressione risale nuovamente. L'elettrovalvola è ancora chiusa e il pistone della pompa discende.

A circa 300 bar, la pressione del carburante è superiore alla forza delle molle precaricate del polverizzatore. L'ago del polverizzatore viene nuovamente sollevato. La pressione sale sino a 2200 bar perché nella camera ad alta pressione viene sospinto verso l'esterno più carburante di quanto ne possa fuoriuscire dai fori del polverizzatore.

L'iniezione principale si conclude (fig. 1e). L'ago apre la valvola tramite la molla dell'elettrovalvola. La pressione del carburante può così fluire nel tubo di mandata e di ritorno del carburante. La pressione diminuisce. L'ago del polverizzatore si chiude e lo stantuffo alternativo viene riportato nella posizione iniziale dalla molla del polverizzatore, concludendo così l'iniezione principale.

Comando elettronico delle quantità di iniezione e dell'inizio dell'iniezione

La centralina regola l'inizio dell'iniezione e la quantità di iniezione (durata dell'iniezione) pilotando l'elettrovalvola.

12.75 Pompa di iniezione distributrice a pistoncini assiali a comando elettronico (EDC)

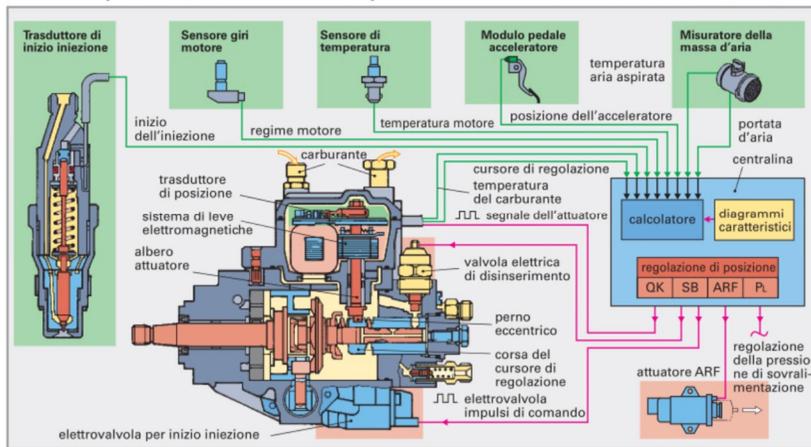


Figura 1: Pompa di iniezione distributrice a pistoncini assiali con EDC

Struttura. La pompa di iniezione distributrice si compone dei seguenti elementi (fig. 1):

- albero di comando;
- pompa di alimentazione del carburante a palette;
- dispositivo di sollevamento-rotazione per l'azionamento del pistone della pompa;
- elemento pompante ad alta pressione;
- sistema di leve elettromagnetiche con cursore di regolazione;
- regolatore idraulico centrifugo con elettrovalvola per la correzione dell'anticipo di iniezione;
- valvola di disinserimento elettrica per l'interruzione dell'afflusso di carburante.

Pompa a palette (fig. 2). A seconda della rotazione, trasporta una quantità di carburante costante dal serbatoio all'interno della pompa. La portata (da 100 a 180 l/h) è sufficiente per fornire all'elemento pompante ad alta pressione il carburante per l'iniezione e per raffreddare e lubrificare la pompa di iniezione.

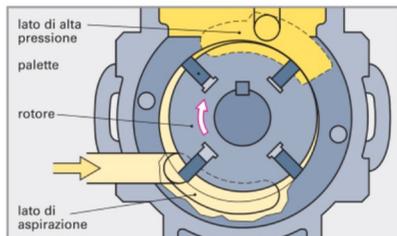


Figura 2: Pompa a palette

Funzione. Il corpo della pompa a palette è disposto in modo eccentrico attorno alla girante. Si crea così una camera di aspirazione che aumenta di volume in direzione della rotazione e una camera di pressione che diminuisce di volume. Il carburante è così trasportato all'interno della pompa. Con l'aumentare del regime motore, aumenta la pressione del carburante nella pompa.

Valvola di regolazione della pressione (fig. 3a). Determina un aumento proporzionale della pressione interna alla pompa rispetto al regime motore. La pressione massima è limitata a 12 bar. Se la pressione del carburante supera questo valore, il pistone della valvola si apre e il carburante può rifluire dall'interno della pompa sino al lato di aspirazione della pompa a palette.

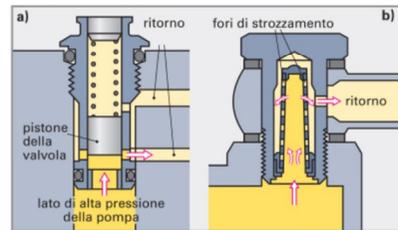


Figura 3: a) Valvola di regolazione della pressione b) Valvola limitatrice di flusso

Valvola limitatrice di flusso (fig. 3b). La valvola limitatrice di flusso consente a un quantitativo variabile di carburante di rifluire nel serbatoio attraverso un

12

piccolo foro. Tramite la valvola di regolazione della pressione e la valvola limitatrice di flusso, sono impostate le seguenti pressioni interne della pompa:

- al minimo circa 3 bar;
- a regime nominale fino a circa 8 bar.

Elemento pompante ad alta pressione. Dall'interno della pompa, il carburante arriva attraverso il pistone distributore nella camera ad alta pressione della pompa, attraversando il canale di afflusso e la fessura di comando (fig. 1a). Al pistone distributore viene impresso un moto rotatorio dall'albero di comando. Dalla piastra dell'albero a camme, il pistone subisce, inoltre, un movimento di alzata. La piastra dell'albero a camme, trascinata dall'albero di comando, conta lo stesso numero di lobi presenti sul cilindro del motore. Questi lobi lambiscono i rulli radiali di un anello e determinano il movimento assiale della piastra dell'albero a camme. Attraverso il movimento rotatorio del pistone distributore si aprono e si chiudono le fessure di comando e si stabilisce un collegamento con i rispettivi fori di comando nella testa del distributore.

Generazione di pressione (fig. 1b). La pressione si genera dopo la chiusura del foro di afflusso con il movimento di alzata del pistone distributore.

Alimentazione di carburante (fig. 1b). Inizia non appena la cava del distributore raggiunge il rispettivo foro di scarico. Con l'alta pressione generata, le valvole di mandata vengono sollevate dalla loro sede e il carburante viene trasportato tramite le condotte di iniezione ai polverizzatori.

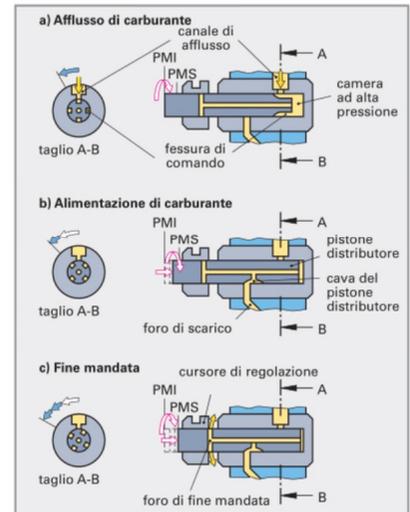


Figura 1: Funzionamento dell'elemento pompante

Fine dell'alimentazione (fig. 1c). Si raggiunge quando il calibro di regolazione libera il foro di fine mandata del pistone distributore. Durante la corsa restante, il carburante rifluisce all'interno della pompa. Dopo avere raggiunto il PMS il pistone distributore si posta nuovamente in direzione del PMI e chiude il foro di fine mandata con il calibro di regolazione. La camera ad alta pressione si riempie nuovamente di carburante che arriva attraverso la fessura di comando successiva rispetto al moto di rotazione.

Regolazione dell'inizio dell'iniezione

Adegua il punto di iniezione alle varie condizioni di esercizio del motore Diesel e aumenta l'anticipo a fronte dell'aumento del regime motore. Consente di avere prestazioni ottimali, consumi contenuti e basse emissioni di sostanze nocive.

Il regolatore idraulico centrifugo (fig. 2) è influenzato da un'elettrovalvola attuata ciclicamente (segnale in PWM).

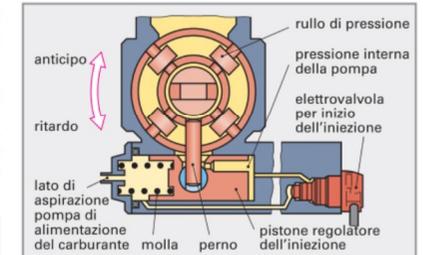


Figura 2: Elettrovalvola pistone regolatore dell'iniezione

Ritardo. A valvola costantemente aperta, la pressione interna della pompa sul pistone del regolatore idraulico centrifugo diminuisce e l'anello del rullo viene spostato in direzione di ritardo.

Anticipo. Se l'elettrovalvola è chiusa, la pressione interna alla pompa è superiore e l'anello del rullo viene spostato in direzione di anticipo.

Inizio dell'iniezione di riferimento. Dipende dal rispettivo regime motore e dalle diverse grandezze di correzione.

Inizio dell'iniezione reale. È rilevato dal sensore della corsa dell'ago e comunicato alla centralina affinché possa eseguire un confronto fra valore reale e valore di riferimento. Se i due valori non coincidono, l'inizio dell'iniezione è corretto attraverso la continua apertura e chiusura dell'elettrovalvola.

Scomparsa del segnale. Se l'elettrovalvola del regolatore idraulico centrifugo non è più comandata, l'inizio dell'iniezione viene modificato, sfruttando la pressione interna della pompa, che dipende dal regime motore. Un errore è salvato in memoria e la potenza del motore è ridotta del 30% (recovery).

Sensore della corsa dell'ago (fig. 1). Si trova sul trasduttore di inizio iniezione ed è generalmente montato su uno dei polverizzatori centrali. Rileva l'apertura e la chiusura del polverizzatore. La centralina, quindi, può rilevare l'inizio e la fine dell'iniezione.

Funzione. Con l'apertura e/o la chiusura del polverizzatore, l'ago che si sposta all'interno della bobina genera una variazione del campo elettromagnetico e, quindi, una tensione induttiva. Il superamento di una tensione di soglia serve come segnale per la centralina per l'inizio dell'iniezione (fig. 1).

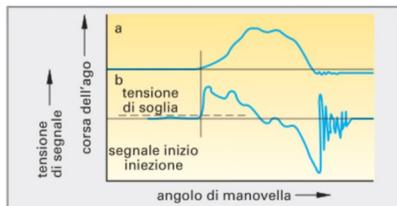


Figura 1: Segnale del sensore di movimento dell'ago

Regolazione della quantità di iniezione (QI). A partire dalla posizione del pedale dell'acceleratore, del regime motore e delle principali grandezze di correzione, è determinata la quantità di iniezione di riferimento salvata nei diagrammi caratteristici. Il sistema di leve elettromagnetiche (fig. 1, pag. 331) viene pilotato tramite un sistema in PWM. Il campo elettromagnetico determina uno spostamento dell'albero con il perno eccentrico che, a sua volta, determina uno spostamento del calibro di regolazione sul pistone distributore. In tal modo, il foro di fine mandata è liberato in anticipo o in ritardo, variando, così, la quantità di carburante. Questo processo può avvenire sino a regimi medi in maniera tanto rapida da produrre una variazione di mandata diversa per ogni cilindro. La posizione del cursore di regolazione viene trasmessa tramite il trasduttore di posizione alla centralina e allineata e/o regolata successivamente.

Trasduttori di posizione. Si suddividono in:

- **potenziometri dell'anello del cursore (resistenza di rotolamento).** Si compongono di cursore e conduttore. Se il cursore modifica la sua posizione, varia la resistenza. Sono soggetti a usura meccanica;
- **sensori ad anello di cortocircuito mezzo-differenziale (fig. 2).** Si compongono di un'anima in ferro dolce, una bobina di misurazione e una di riferimento e di un anello di cortocircuito girevole. Se l'anello ruota, cambia il flusso elettromagnetico e, quindi, anche la tensione della bobina di misurazione U_A . Essendo "contactless", funziona in maniera precisa e non è soggetto ad usura.



Figura 2: Sensore ad anello di cortocircuito mezzo-differenziale

12.7.6 Pompa di iniezione distributrice a pistoncini radiali (VP44)

È una pompa di iniezione a comando elettronico (EDC) dotata di centralina integrata nel corpo della pompa stessa. Genera pressioni di iniezione sino a 1900 bar e può essere montata in qualsiasi posizione (fig. 1, pag. 334).

Funzionamento. L'albero di comando aziona, con il regime di rotazione dell'albero a camme, l'alberino del distributore con i cilindri ad alta pressione. Le punterie a rulli dei pistoncini ad alta pressione scorrono sulla relativa corona, azionando in tal modo i pistoncini stessi.

L'elettrovalvola ad alta pressione regola l'inizio e la quantità dell'iniezione. L'elettrovalvola del regolatore idraulico centrifugo garantisce che, attraverso la rotazione dell'anello della camma, l'alta pressione sia disponibile al momento giusto.

Compiti. La VP44 svolge le seguenti attività:

- alimentazione del carburante;
- creazione e distribuzione di alta pressione;
- regolazione dell'inizio dell'iniezione;
- regolazione della quantità di iniezione.

Alimentazione del carburante. Tramite una pompa a palette azionata dall'albero di comando, il carburante viene trasportato dal serbatoio all'interno della pompa (fig. 2, pag. 334). Diversamente, attraverso la pompa di iniezione distributrice a pistoncini assiali non viene riempita di carburante tutta la parte interna della pompa, ma solo il serbatoio di accumulo posizionato dietro alla membrana. In questo modo, le pressioni per il riempimento della pompa sono più elevate. A seconda della velocità di rotazione della pompa, sono impostate le seguenti pressioni interne della pompa:

- al minimo da 3 a 4 bar;
- a carico parziale da 4 a 15 bar;
- a pieno carico da 15 a 20 bar.

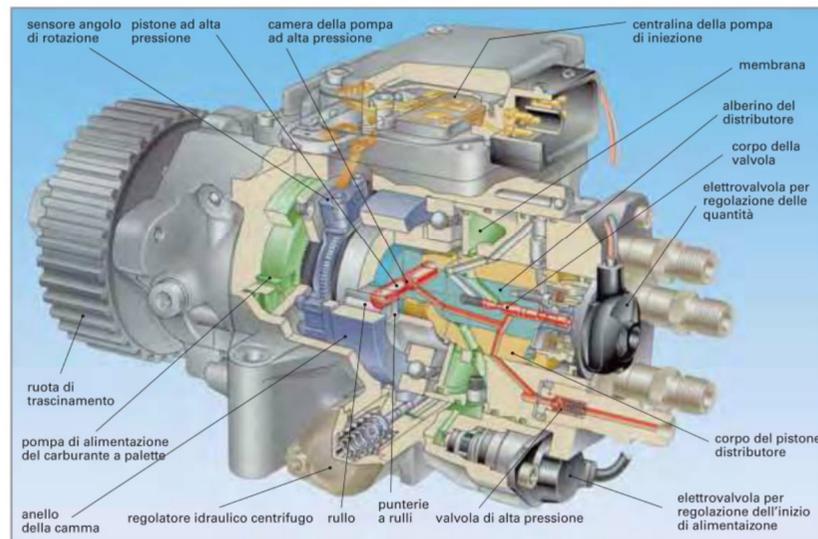


Figura 1: Pompa di iniezione distributrice a pistoncini radiali (VP44)

La pressione è limitata dalla valvola di regolazione della pressione e dalla valvola limitatrice di flusso (fig. 2).

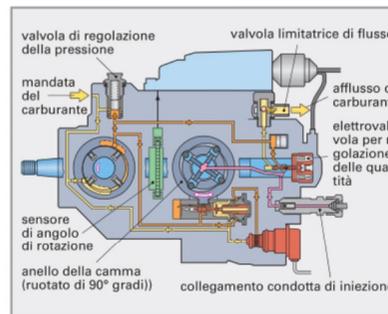


Figura 2: Flusso del carburante in una VP44

Regolatore idraulico centrifugo (fig. 3). Al ruotare dell'anello della camma, le punterie a rulli vengono impostate su un anticipo e/o un ritardo e i pistoncini ad alta pressione si spostano verso l'interno. Se l'elettrovalvola per la regolazione delle quantità è chiusa, si genera alta pressione e avviene l'iniezione. Se l'elettrovalvola è aperta, il carburante viene spinto nuovamente nell'afflusso e nel ritorno.

La posizione dell'anello della camma indica la finestra temporale entro la quale può avvenire l'iniezione.

Funzione. Le pressioni più elevate della VP44 richiedono delle forze di scorrimento più elevate sull'anello della camma rispetto alla pompa di iniezione distributrice a pistoncini assiali. Grazie alla trasmissione idraulica nel pistone del regolatore idraulico centrifugo, è possibile eseguire regolazioni rapide e precise.

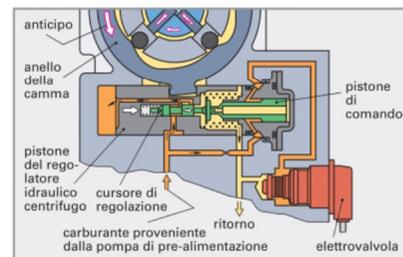


Figura 3: Anticipo dell'iniezione

Anticipo dell'iniezione. A riposo, il pistone del regolatore idraulico centrifugo è mantenuto in posizione di ritardo tramite la molla di richiamo. Se

l'elettrovalvola è chiusa da un segnale in PWM, la pressione interna della pompa agisce sul pistone di comando, che si sposta assieme al cursore di regolazione verso destra. Il cursore di regolazione libera così un foro di afflusso e il carburante può fluire sotto pressione nella camera di lavoro del pistone del regolatore idraulico centrifugo e spostarlo nella posizione di anticipo.

Ritardo dell'iniezione. L'elettrovalvola è pilotata e, quindi, aperta, aumentando la pressione del carburante sul pistone di comando. La forza della molla sposta il pistone di comando con il cursore di regolazione verso sinistra. Il foro di ritorno è liberato e la pressione del carburante sul pistone del regolatore idraulico centrifugo defluisce nel ritorno. La molla di richiamo sposta il pistone del regolatore idraulico centrifugo nella posizione di ritardo.

Fasi dell'alimentazione

Fase di riempimento (fig. 1). Le punterie a rulli si allontanano dalle camme. I pistoni vengono spinti verso l'esterno dalla pressione del carburante e dalle forze centrifughe. L'elettrovalvola ad alta pressione è aperta e, quindi, non alimentata.

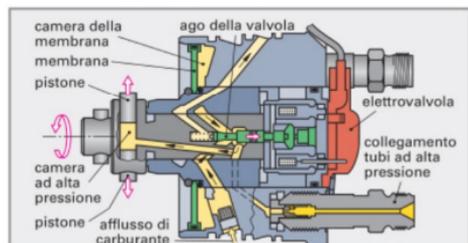


Figura 1: Fase di riempimento

Fase di alimentazione/inizio dell'iniezione (fig. 2). L'elettrovalvola di alta pressione chiude l'afflusso tramite un impulso di corrente della centralina della pompa (corrente di accensione = 20 A; corrente di mantenimento = 13 A). Ora la camera ad alta pressione risulta sigillata. L'iniezione ha inizio non appena la pressione del carburante supera la pressione di apertura del polverizzatore all'inizio della salita della camma.

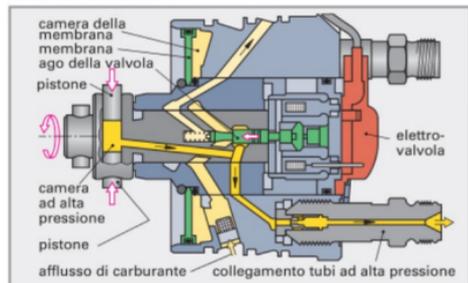


Figura 2: Fase di alimentazione/inizio dell'iniezione

Fine dell'iniezione. Quando viene raggiunta la quantità di iniezione desiderata, la centralina della pompa interrompe la corrente all'elettrovalvola. L'elettrovalvola si apre e l'alta pressione viene eliminata nel ritorno e nel serbatoio a membrana.

Gli elevati picchi di pressione che agiscono sulla pompa a palette vengono smorzati dalla membrana, che velocizza nuovamente il processo di riempimento. Nella fig. 3 viene mostrato lo schema delle possibili quantità, della reale regolazione delle quantità e dell'inizio dell'iniezione. In caso di avaria di un sensore del circuito di regolazione, viene ricavato un processo di comando e il veicolo entra in recovery.

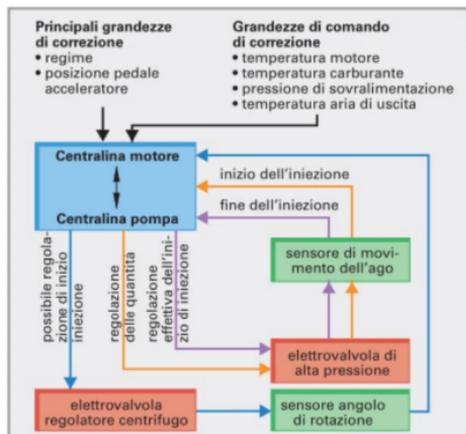


Figura 3: Circuiti di comando e regolazione di un VP44

12.8 Polverizzatori

Struttura. I polverizzatori sono costituiti dal corpo e dall'ago del getto (fig. 1). Sono fabbricati in acciaio di alta qualità e poi lappati. Le tolleranze sono comprese tra 0,002-0,003 mm. I due pezzi devono essere, quindi, sempre sostituiti contemporaneamente.

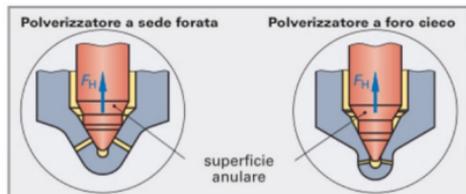


Figura 4: Polverizzatori a pernetto e polverizzatori a fori

Per contenere le emissioni di idrocarburi incombusti, è importante che il volume residuo, al di sotto della sede del polverizzatore, sia il più limitato possibile. Questo effetto è raggiunto in maniera ottimale con l'impiego di polverizzatori a sede forata.