

Il controllo elettronico dei motori a benzina 4 tempi

1 - Introduzione

Il motore endotermico più diffuso tra le autovetture europee è sicuramente quello a benzina a 4 tempi, per il numero di giri sviluppato a parità di peso rispetto ad un Diesel. Nonostante la tecnologia meccanica abbia trovato diverse innovazioni valide per il miglioramento in termini di consumo e prestazioni, i motori comuni sono rimasti tecnologicamente invariati. Ultimamente però è aumentata l'esigenza di ridurre l'inquinamento prodotto dai motori, sia riducendo le sostanze tossiche emesse dallo scarico usando la marmitta catalitica, sia riducendo i consumi ottimizzandoli tramite elettronica. In particolare l'elettronica è entrata a pieno titolo per l'ottimizzazione e gestione del motore e, con questo documento, si vuole esporne gli aspetti tecnologici più comunemente usate sulle vetture normali (cioè escludendo i sistemi di controllo di valvole e di sovralimentazione a turbina). Perciò si introducono rapidamente le caratteristiche principali dei motori tradizionali per metterle a confronto con quelle delle ultime tecnologie che si sono diffuse. Va premesso che spesso, almeno nei manuali italiani, viene chiamata iniezione elettronica tutto quello che riguarda l'elettronica di controllo, mentre iniezione e accensione elettronica sono due questioni che vanno studiate separatamente.

2 - L'accensione

L'accensione, nella terminologia meccanica, consiste nel innescare la combustione della miscela nella camera di combustione, tramite scintilla prodotta con una scarica elettrica ad alto voltaggio (8 - 20 kV) tra gli elettrodi della candela.

La posizione che assume l'insieme dei vari organi del motore, è identificato con un angolo (vedi figura 1) che è l'angolo con cui è ruotato l'asse del motore, rispetto ad un certo punto di riferimento, che può essere il punto morto superiore (pms), che si ottiene portando uno dei pistoni nel punto più alto della sua corsa. Così ogni fase e operazione che avviene nel motore, viene identificato con un settore di angolo o un angolo.

Si chiama angolo di accensione o anticipo l'angolo rispetto al punto morto superiore di un certo pistone, con cui è ruotato l'asse nel momento in cui avviene l'accensione.

Siccome la combustione non avviene istantaneamente ma in un intervallo di tempo breve ma finito, è necessario che l'accensione avvenga prima che il pistone arrivi nel pms, già durante la fase di compressione, e perciò l'angolo di accensione viene chiamato anche anticipo. Questo parametro può variare molto da motore a motore ed è indicativamente dell'ordine di 20 - 40°.

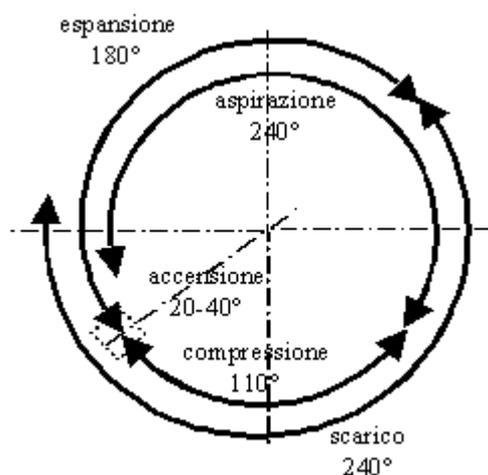


Figura 1 – rappresentazione angolo motore di varie fasi

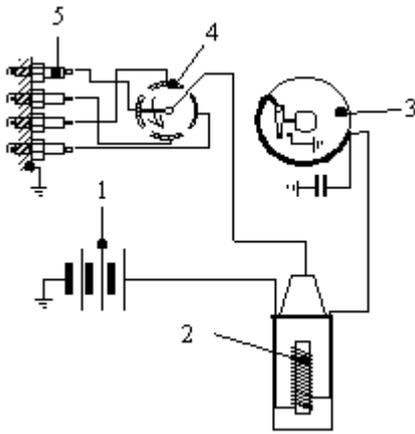


Figura 2 – Schema elettrico di un sistema di comando dell'accensione a batteria e spinterogeno
(1) batteria - (2) bobina - (3) rottore - (4) distributore - (5) candele

Il sistema di accensione tradizionale (montato sulle automobili fino a pochi anni fa) è quello a batteria e spinterogeno, che è raffigurato schematicamente in figura 2. (Non viene introdotto il principio di funzionamento di questo sistema)

I principali problemi che ha questo sistema, sono :

- usura elevata dei contatti meccanici;
- l'anticipo è fisso e non è quello ottimale per tutti i regimi, ma solo per uno definito in fase di progettazione;
- il sistema, essendo elettromeccanico, è troppo lento e quando il numero di giri del motore è alto (in un motore comune può essere di 5000 - 6000 giri/min. e raggiungere i 10000 - 13000 giri/min nei motori sportivi e nelle moto), e il sistema può non essere in grado di fornire alla scintilla sufficiente energia per innescare la reazione di combustione.

Tutti questi problemi vengono superati sostituendo il congegno elettromeccanico con una centralina elettronica, che sulla base di alcuni parametri quali ad esempio il numero di giri del motore, decide l'angolo di accensione ottimale, e fornendo senza limitazioni o problemi di usura scintille di energia sufficiente ad ogni regime. (per regime si intende il numero di giri/minuto del motore).

3 - La carburazione

La carburazione consiste nell'introduzione del carburante nella camera da scoppio, sotto forma di una miscela omogenea aria/benzina con un opportuno rapporto stechiometrico, pari a circa 15:1 in massa, ottenuta tramite nebulizzazione o vaporizzazione fine. La qualità della miscela garantisce una buona combustione.

L'organo tradizionale che esegue la carburazione si chiama carburatore ed è raffigurato schematicamente in figura 3.

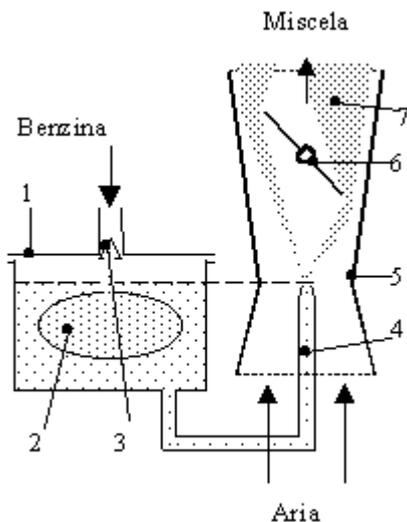


Figura 3 - Schema elementare carburatore

(1) vaschetta a livello costante - (2) galleggiante - (3) valvola d'ingresso benzina - (4) spruzzatore - (5) tubo di Venturi - (6) valvola a farfalla - (7) benzina vaporizzata

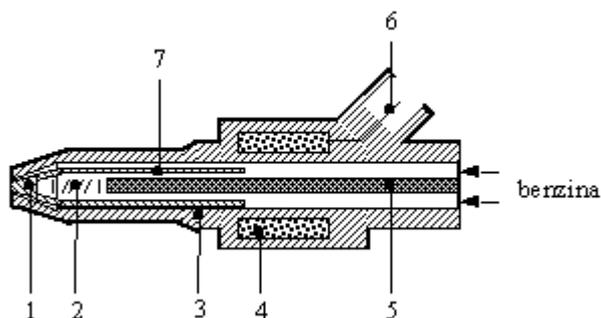


Figura 4 - Schema elementare di un elettroiniettore

(1) spillo - (2) molla - (3) corpo dell'iniettore - (4) avvolgimento - (5) vite di registro spingi-molla - (6) conettore elettrico - (7) ancora magnetica

Il carburatore si trova esattamente lungo il condotto di aspirazione (anzi ne fa parte). Una pompa spinge la benzina verso la vaschetta di livello (1), da dove fluisce attraverso un tubicino che finisce con un foro molto piccolo (4), il quale è posizionato esattamente nel centro della strozzatura di un tubo particolare (5). Questo tubo per la sua particolare forma strozzata si chiama tubo di Venturi e si collega alle luci di aspirazione dei cilindri da un lato, mentre dall'altro entra l'aria aspirata dal bocchettone. Quando si è nella fase di aspirazione, con le valvole di aspirazione aperte e supponendo che la valvola a farfalla (6) sia almeno in parte, aperta, entra nel tubo di Venturi l'aria aspirata. La sua velocità (per il teorema di Bernoulli) aumenta in prossimità della strozzatura e la pressione diminuisce, perciò si ha la fuoriuscita di carburante dal foro del tubicino (4), che vaporizza, ottenendo la miscela (7). La quantità di miscela è regolata dall'apertura della valvola a farfalla, mentre il rapporto stechiometrico dipende più o meno dalla conformazione del tubo di Venturi e dello spruzzatore.

E' necessario che l'altezza del livello di carburante nella vaschetta sia la stessa di quella dello spruzzatore, e ciò è ottenuto mediante il meccanismo formato dal galleggiante (2) e dalla valvola a spillo (3), a condizione che la vaschetta ed il motore stesso abbiano una determinata posizione e orientazione fissata in fase di progetto.

Quest'ultimo problema spinse le Ditte germaniche Daimler e Benz, durante la seconda guerra mondiale, ad adattare l'iniezione (diretta !!), già usata nei motori Diesel, sui motori a benzina destinati agli aerei da combattimento (che non dovevano essere limitati nei movimenti). L'iniezione è l'alternativa all'uso del carburatore tradizionale.

Oltre a questo svantaggio, il carburatore tradizionale ha anche altri problemi :

- 1) la presenza del tubo di Venturi, essendoci una strozzatura, riduce l'afflusso di aria;
- 2) c'è il rischio di formazione di ghiaccio nel tubo di Venturi;
- 3) la miscela risulta essere troppo ricca nei regimi alti e troppo povera nei regimi bassi;
- 4) sono necessari accorgimenti meccanici e l'intervento umano nella fase di riscaldamento del motore, durante il quale la vettura si muove con difficoltà;
- 5) il motore non risponde con sufficiente velocità a possibili variazioni improvvise di regime o dei comandi esterni.

Dal punto di vista pratico il carburatore è relativamente "spartano", anche se funziona, e ha il vantaggio di essere relativamente semplice ed economico, anche nella sua manutenzione e riparazione.

Viceversa l'iniezione è ben più complessa e l'uso di elettronica sofisticata complica ulteriormente le cose (basti pensare che per la messa a punto e riparazione di questi sistemi sono nate officine specializzate).

L'uso dell'iniezione però risolve tutti i problemi del carburatore tradizionale, con in più, con l'uso dei sistemi di controllo a centralina elettronica, ulteriori vantaggi :

- l'uso di elettroiniettori rende migliore la vaporizzazione, ottenendo miscele più finemente omogenee;
- l'uso delle centraline elettroniche permette una dosatura ottimale del carburante ottenendo miscele più o meno ricche a seconda delle necessità;

- si possono evitare in modo intelligente gli sprechi;
- la fase di riscaldamento è completamente automatizzata, consentendo avvio e partenza del motore immediate anche in pessime condizioni atmosferiche (temperature basse).

In **figura 4** è riportato lo schema di un elettroiniettore. In generale, l'iniettore è costituito semplicemente da un tubo (3), in cui da una estremità entra il carburante mantenuto sotto pressione da una pompa (da 1 a 5 ATM circa). L'altra estremità finisce con un foro molto stretto che serve a nebulizzare la benzina. L'iniettore può avere una valvola a spillo (1) che chiude il foro di uscita e può essere aperta con un comando esterno (meccanico, elettrico o pneumatico) e in tal caso si parla di iniezione intermittente (al contrario dell'iniezione continua che non possiede valvole di chiusura dell'ugello). Nel caso specifico di interesse, l'elettroiniettore è dotato di valvola comandata da un segnale elettrico di tipo logico (o tutto o niente), il quale attraversando una bobina (4), genera un campo magnetico, il quale attira un'ancora magnetica (7) collegata alla valvola.

Si possono distinguere tra i sistemi di iniezione diretta, indiretta multi-point (multi punto) o single-point (monoiniettore).

Il primo sistema, l'iniezione diretta, prevede appunto l'iniezione direttamente nella camera da scoppio. Questo sistema comporta molti vantaggi in termini di prestazioni, ma come si capisce, la complessità tecnica comporta l'aumento dei costi. Per questo motivo questo sistema è diffuso in particolari vetture sportive.

L'iniezione indiretta multi-point prevede l'installazione di iniettori a monte delle valvole di aspirazione, ed è una soluzione nettamente più economica ed è impiegata nelle vetture sportive più comuni.

Infine, il sistema più diffuso nelle auto normali è l'iniezione indiretta single-point, che usa un unico iniettore posto a monte della farfalla, quindi il condotto formato dall'iniettore e dalla farfalla viene chiamato carburatore ad iniezione, che a differenza di quello tradizionale non possiede il tubo di Venturi.

Il controllo economico, sia per l'iniezione diretta che quella indiretta, resta sostanzialmente lo stesso ed è realizzato tramite centralina elettronica, che in funzione di alcuni parametri quali la temperatura dell'aria e del motore, la quantità di aria che entra nel condotto di aspirazione, il regime del motore e l'angolo dell'asse istante per istante, determina l'istante e la durata dell'iniezione.

L'uso di un microcomputer per la gestione ottimizzata del motore permette l'applicazione di piccoli accorgimenti utili. Il primo è il riscaldamento automatico iniziale del motore ottenuto arricchendo la miscela, e dando la possibilità all'utente dell'autoveicolo di muoversi subito. La seconda utilità offerta dal microcomputer, è che esso può essere facilmente programmato ad accorgersi se l'utente vuole una forte accelerazione e arricchire momentaneamente la miscela (e l'anticipo di accensione), oppure se l'utente sta decelerando e usa il motore come freno e azzerare l'iniezione di carburante.

In figura 5 e figura 6 sono riportati due schemi di sistemi di iniezione elettronica della Bosch. Notare che il secondo sistema, a differenza del primo, è ad anello chiuso, perché è presente il sensore (8) detto sonda lambda, che rilevando la concentrazione di ossigeno nei gas di scarico e quindi comportandosi da retroazione, il sistema è in grado di correggere il rapporto stechiometrico della miscela. In questo modo si ottiene un sistema più preciso che riduce le emissioni inquinanti e aumenta l'efficienza della marmitta catalitica (infatti la sonda lambda che necessita di un sistema di controllo elettronico, è stata introdotta con la marmitta catalitica).

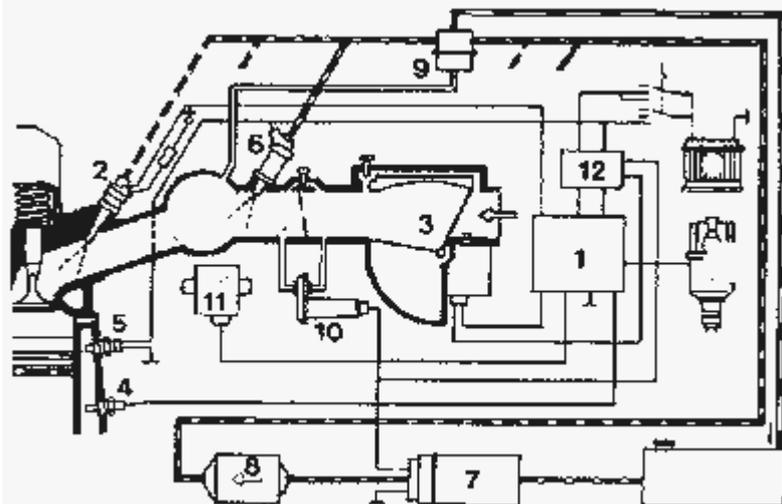


Figura 5 - Schema del sistema a iniezione L-Jetronic

(1) centralina elettronica - (2) elettroiniettore - (3) misuratore quantità aria - (4) sensore temperatura - (5) interruttore termico a tempo - (6) elettroiniettore d'avviamento a freddo - (7) elettropompa di alimentazione - (8) filtro carburante - (9) regolazione pressione carburante - (10) valvola aria addizionale - (11) interruttore sulla farfalla (12) relè composto

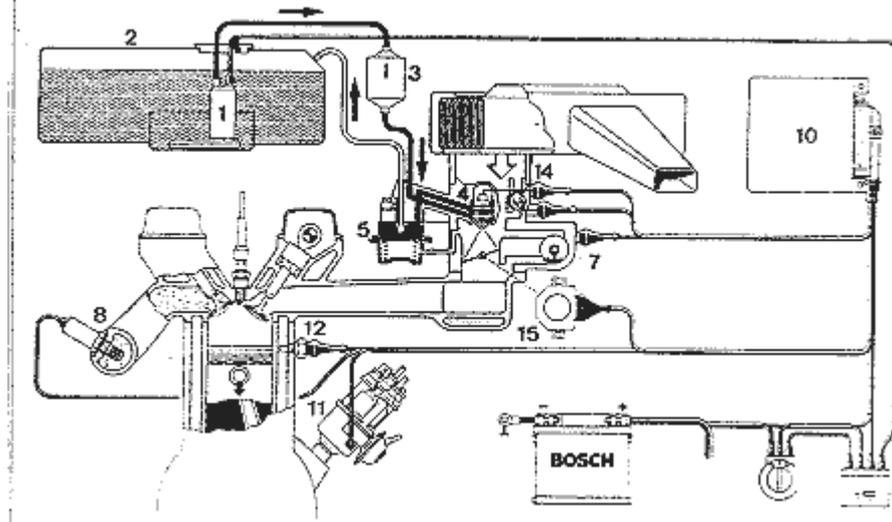


Figura 6 - Schema di un sistema d'iniezione meccanica a punto singolo (Bosch Mono-jetronic)

(1) elettropompa - (29 serbatoio - (3) filtro carburante - (4) iniettore elettromagnetico - (5) regolatore pressione - (7) regolatore del minimo - (8) regolatore del minimo - (10) gruppo elettronico di comando - (11) distributore di accensione - (12) sensore di temperatura - (14) misuratore di portata d'aria a filo caldo - (15) potenziometro sulla farfalla

4 - La centralina elettronica

Accensione ed iniezione sono ormai controllate da un unico circuito elettronico, contenente un microcomputer che raccoglie le informazioni ricevute dai sensori e comanda la candela e gli iniettori. Questo circuito elettronico viene chiamato ECU (Engine Control Unit) o semplicemente centralina elettronica.

In figura 7 si può vedere uno schema a blocchi di una centralina. I sensori vengono collegati opportunamente alla centralina, e i segnali relativi entrano prima in un circuito di condizionamento costituito da amplificatori, filtri che sopprimono i disturbi, e da convertitori analogico digitali (può esserci un solo ADC con più ingressi selezionabili), o circuiti vari di elaborazione (comparatori, contatori).

Il microcomputer, che può essere nei casi commerciali un microcomputer dedicato alla specifica applicazione nei motori, raccoglie i dati attraverso delle porte e dopo averli elaborati decide come usare gli attuatori. Il microcomputer gestisce anche un gruppo di relè, esterno alla scatola contenente la centralina attraverso i quali disattiva o attiva alcuni utilizzatori elettrici del motore come ad esempio la pompa di benzina, il distributore o il trasformatore di accensione viene collegato a massa, collega ad uno dei morsetti dei sensori e elettroiniettori ad al polo positivo della batteria, e in fase di avviamento preriscalda la sonda lambda e accende il motorino di avviamento.

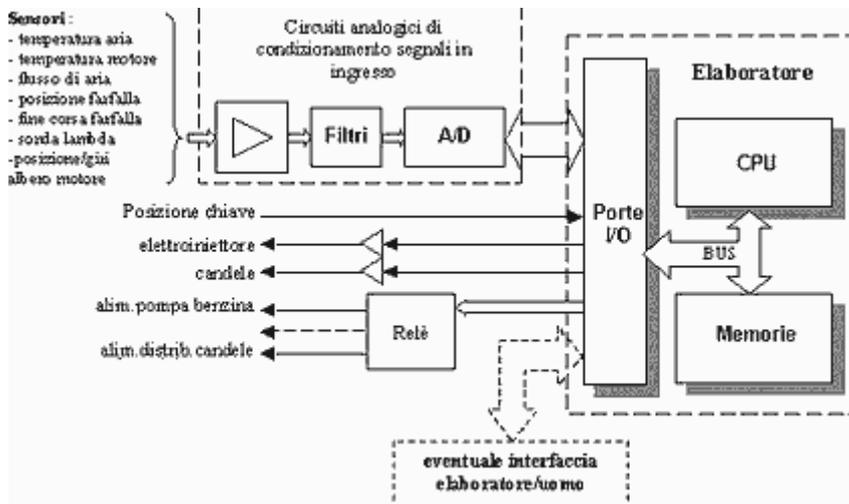


Figura 7 - Schema a blocchi del sistema di controllo del motore

Talvolta la centralina possiede un sistema di interfacciamento, che può essere collegato al cruscotto dell'automobile, oppure da una scheda per collegare la centralina al PC tramite porta parallela. Nel caso delle automobili commerciali, esiste sempre uno o più morsetti destinati alla diagnosi di sistema per la manutenzione.

Nelle centraline c'è anche un ulteriore ingresso che la informa della posizione della chiave nel cruscotto.

Le centraline più vecchie, come il sistema Motronic ML4.1 della Bosch, che sono montate sulle vetture sportive Citroen Bx19 GTI 16V 1905cc, Peugeot 309 1.9 16V e 405 mi16 1905cc, degli anni 1987 - 1991, sono montate su PCB simile a quello raffigurato in figura 8, che però non è una scheda Motronic. La foto della scheda della centralina Motronic, che non è riportata, mostra che tutti i suoi componenti erano privi di ogni tipo di sigla.

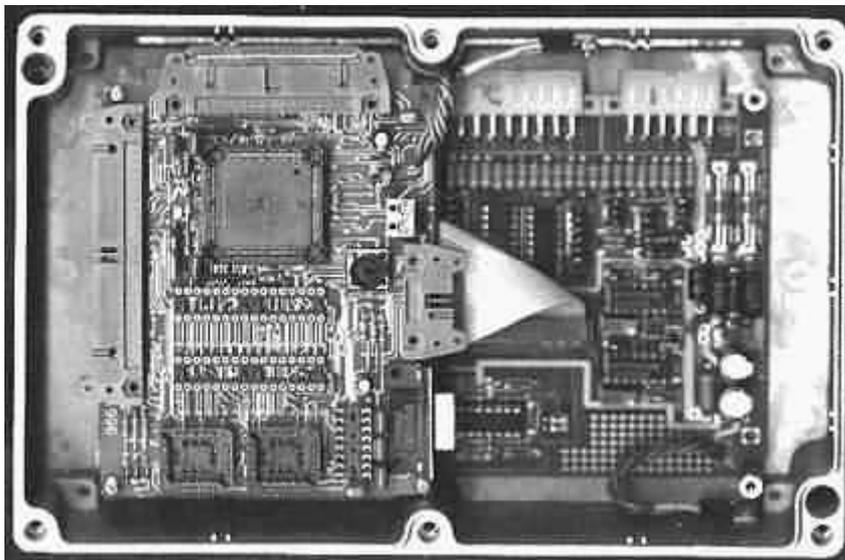


figura 8 - centralina in PCB (gruppo microcomputer)

Le ultime centraline della Bosch sono basate su tecnologie di integrazione ibrida (figura 9) che usa uno strato di ceramica su cui viene montato il circuito in forma compatta.

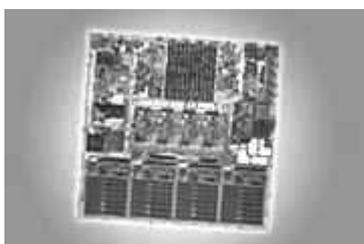


figura 9 - centralina integrata in forma ibrida

Descriviamo in seguito le caratteristiche e la utilità, di alcuni tra i sensori più comunemente usati per il rilevamento dei parametri del motore.

5 - Misura della quantità di aria aspirata

In condizioni di funzionamento normale del motore, per calcolare quanto carburante iniettare, al fine di ottenere una miscela più o meno ricca, è necessario conoscere la quantità di aria aspirata dal motore.

Questa quantità viene ottenuta mediante funzione diretta del flusso di aria entrante e proporzione inversa della sua temperatura. Il sensore di flusso d'aria (AFS) e quello della temperatura (ATS) sono generalmente riuniti in un unico gruppo, posto nel collettore di aspirazione a monte della valvola di aspirazione e iniettore, come quello montato sulla Citroen Bx19 raffigurato in figura 10

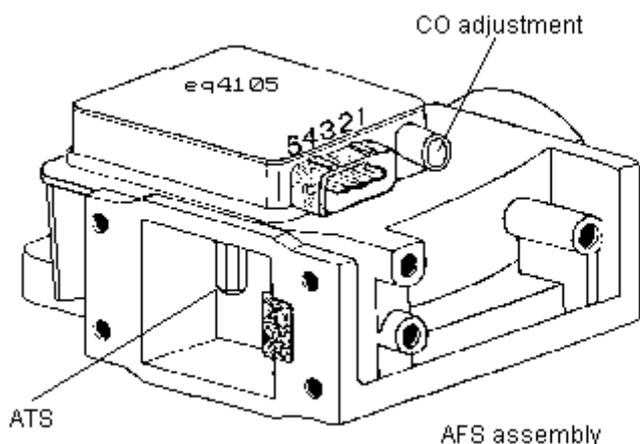


Figura 10 - Disegno del sensore destinato alla misura della portata d'aria, e montato sulla Citroen Bx19 16V

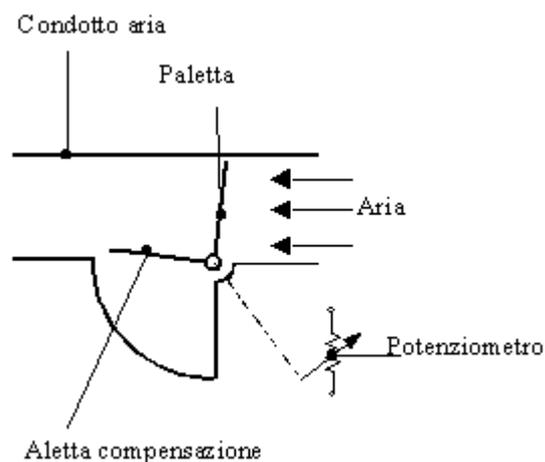


Figura 11 - Schema del sensore della portata d'aria

Come sensore di temperatura si usa di solito un NTC.

Il flusso di aria viene misurato tramite un congegno come quello di figura 11. Una paletta mobile è incernierata all'interno del condotto di aspirazione, solidalmente a un perno collegato a sua volta al cursore di un potenziometro. Grazie ad una molla di richiamo e in assenza di aria, la paletta copre interamente il condotto e la tensione ai capi del potenziometro ne indica la particolare posizione. Quando l'aria viene aspirata, spinge la paletta che si piega in conseguenza della pressione che si esercita su di essa. Ciò provoca il movimento del cursore del potenziometro che, tramite opportuno circuito, genera il segnale "flusso di aria".

In figura 12 è riportato un esempio di collegamento dei sensori alla centralina, come viene fatto nella Citroen Bx19, e nelle tabelle 1 e 2 sono riportati alcune caratteristiche elettriche di questi sensori. Un altro modo, meno usato (vedi per esempio un'applicazione in figura 6), per la misura del flusso di aria è quello chiamato "a filo caldo". Un filo di platino attraversa il condotto di aspirazione lungo la sua sezione, ed è percorso da una corrente mantenuta costante da un circuito autoregolante. Con il

movimento dell'aria il filo si raffredda, quindi diminuisce la resistenza del filo e il circuito di regolazione deve correggere la tensione ai suoi capi per mantenere costante la corrente. Tale tensione risulta essere il segnale inviato alla centralina, che insieme al valore della temperatura dell'aria, ne calcola la quantità.

Condizione	Resistenza [ohm]	Tensione [V]
motore spento	10-200	0.75 - 1.50
2000 rpm	-	1.75 - 2.25
3000 rpm	-	2.00 - 2.50
Accelerata improvvisa	-	3.00 - 4.50
Paletta completamente aperta	1000 - 2500	4.50

Tabella 1 - valori relativi alla resistenza e tensione del sensore di misura della portata d'aria montato sulla Citroen Bx19 16V

Temp.[°C]	Resistenza [ohm]	Tensione [V]
-10	9000	4.4
0	6000	4.3
15	3000	4.0
20	2500	3.8
30	1500	3.0
40	1200	2.8
60	600	1.9
80	300	1.3

Tabella 2 - valori relativi alla resistenza e tensione del sensore di temperatura dell'aria montato sulla Citro-en Bx19 16V

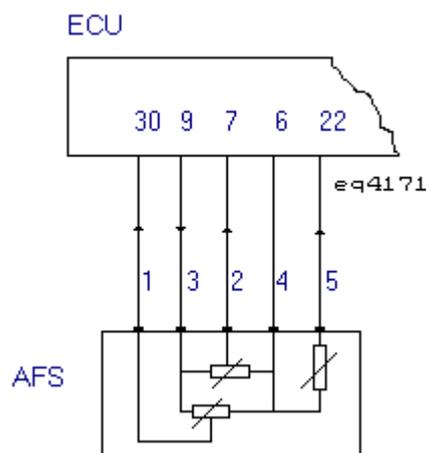


Figura 12 - Circuito e collegamento dei sensori di misura della portata d'aria e della sua temperatura dell'automobile modello Citroen Bx19 16V

Un altro modo per misurare la quantità di aria è quello di rilevare oltre alla sua temperatura, la sua pressione assoluta tramite un apposito trasduttore. Questo metodo, che prende il nome di MAP (Manifold Absolute Pressure), dà la possibilità di inserire il trasduttore di pressione direttamente nella scatola della centralina.

Infine un ulteriore modo per stabilire la quantità di aria che entra nel motore è la misura, oltre che sempre della temperatura, della apertura della valvola a farfalla, ottenuta collegando meccanicamente l'asse della valvola con il cursore di un potenziometro. Questo metodo però è molto più impreciso, perché si tratta di una misura indiretta che fornisce solo un'indicazione dell'aria che presumibilmente entra nel condotto (che varia per esempio dalla velocità della vettura). 6 - La sonda lambda

La sonda lambda è il sensore che informa la centralina di quale è la concentrazione di ossigeno nei gas di scarico. Con tale segnale, la centralina corregge il dosaggio di benzina in termini di rapporto stechiometrico riducendo quindi le emissioni inquinanti permettendo alla (eventuale) marmitta catalitica di lavorare con maggiore efficienza. La sonda quindi è una retroazione per il sistema. In figura 13 è riportato lo schema della sonda lambda. La sonda, che è inserita nel condotto da dove escono immediatamente i gas di scarico, è costituita da due elettrodi di platino separati da uno strato di zirconio, della forma di tubo ma con una sola estremità chiusa. L'estremità aperta consente all'aria atmosferica di entrare e venire a contatto con l'elettrodo interno. L'elettrodo esterno è rivestito completamente di ceramica, che è a contatto dei gas di scarico.

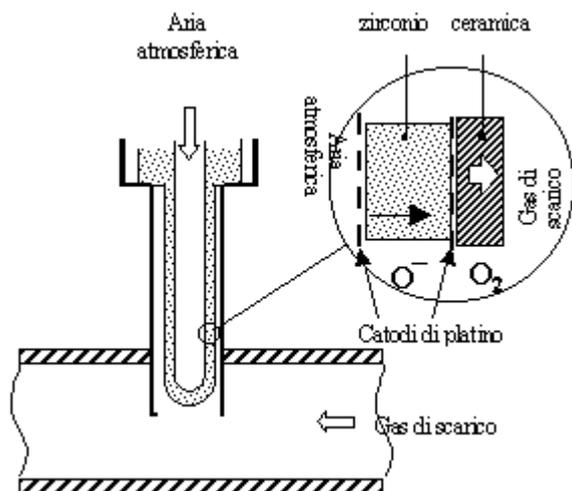


Figura 13 - Schema elementare di una sonda lambda

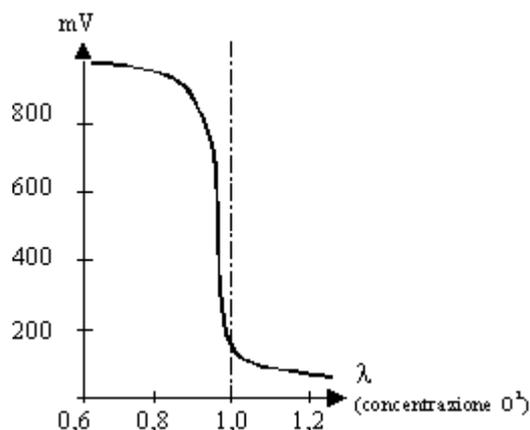


Figura 14 - Andamento della tensione ai capi della sonda lambda al variare della concentrazione di ossigeno nei gas di scarico

Quando lo strato ceramico raggiunge una temperatura di circa $350^{\circ}C$, diventa poroso consentendo all'ossigeno molecolare dei gas di scarico di raggiungere l'elettrodo interno. Se le pressioni parziali dell'ossigeno presente rispettivamente nell'aria e nei gas di scarico sono diverse, l'ossigeno O_2 con maggiore pressione parziale (quindi sicuramente quello dell'aria atmosferica), a contatto con l'elettrodo di platino, si riduce in ioni O^{--} che attraversano lo strato di zirconio, per cui tra gli elettrodi si stabilisce una ddp che è funzione inversa della pressione parziale di ossigeno presente nei gas di scarico.

Se i gas di scarico sono poveri di ossigeno, per effetto di una miscela troppo ricca, c'è il rischio che si formi monossido di carbonio, che è altamente tossico, allora la centralina reagisce riducendo la durata di iniezione ottenendo una miscela più povera. I tempi di risposta sono di circa 50ms. In figura 14 è riportato l'andamento della tensione ai capi della sonda lambda in funzione della concentrazione di ossigeno.

7 - Sensore di temperatura del motore

Tramite un NTC dalle stesse caratteristiche di quello usato per determinare la temperatura dell'aria (vedi tabella 2), la centralina adotta utili procedure specifiche per certe situazioni.

Se la temperatura è al di sotto di una certa soglia la centralina capisce che il motore ha bisogno di essere riscaldato, quindi arricchisce un po' la miscela e segue una procedura dedicata a questo caso specifico, per evitare gli strappi del motore nelle partenze a freddo. L'utente quindi non deve preoccuparsi di scaldare il motore prima di partire, agendo sulla leva "dell'aria", che ormai è scomparsa, ma anzi può partire subito. L'avviamento quindi è assicurato e immediato anche quando le condizioni meteorologiche sono proibitive (una volta i motori tradizionali facevano fatica ad avviarsi e a partire a freddo, in particolare per la presenza del tubo di Venturi).

8 - Sensori di posizione della valvola a farfalla

In molte automobili, la valvola a farfalla è dotata di due switch che indicano alla centralina che la valvola è completamente aperta (pieno carico) o completamente chiusa (condizione di minimo). Nella condizione di minimo il primo switch è attivo (per esempio da un valore logico 1) mentre il secondo no (p.es. a 0) allora la centralina reagisce in due modi :

1) se il numero di giri/min. del motore è basso, (per la Fiat Punto 55 circa 850 giri/min.), allora la centralina esegue iniezioni della durata stabilita per la condizione di minimo (se poi si è a motore freddo arricchisce la miscela) secondo un certo programma;

2) se il numero di giri del motore supera una certa soglia allora vuol dire che si vuole usare il motore come freno, quindi la centralina riduce fino a zero l'iniezione di carburante, fino a che o la farfalla non è più in posizione di minimo con lo switch attivato, o il motore è entrato in regime di minimo e la centralina esegue il programma definito per il minimo. In questo modo si riducono gli sprechi inutili di carburante, soprattutto in città nel traffico.

Nel caso in cui la valvola a farfalla è completamente aperta, per cui si ha il primo switch disattivato (p.es. a 0) e il secondo attivo (p.es. a 1), allora la centralina arricchisce la miscela al massimo e aumenta l'angolo di accensione per ottenere la massima potenza dal motore. In questi casi, può succedere che la centralina escluda dai controlli la sonda lambda.

In sistemi sofisticati, per vetture sportive, vengono prese in considerazione le posizioni intermedie della valvola a farfalla, in cui entrambi gli switch descritti prima sono inattivi, tramite un potenziometro il cui cursore è mosso dall'asse della farfalla. Questo parametro, come descritto nel capitolo di misura della quantità di aria aspirata, può essere usato per determinare la quantità di aria aspirata, ma è preferito per dire alla centralina quali sono le intenzioni di chi guida : se si ha una brusca apertura delle valvola a farfalla, la centralina la rileva e interviene aumentando per un breve istante di tempo la durata di iniezione e l'angolo di accensione.

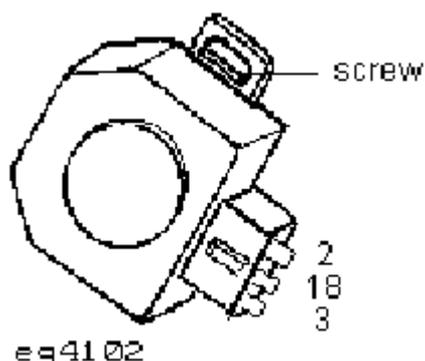


figura 15 - Disegno del sensore di posizione della farfalla

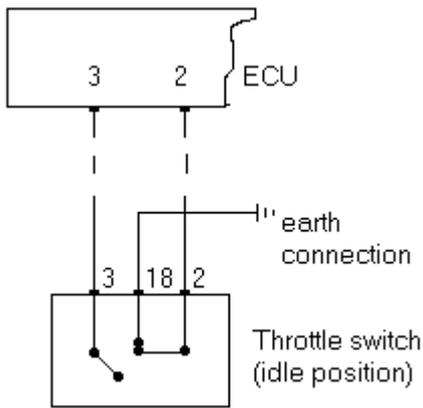


Figura 16 - Collegamento sensore posizione - centralina

In figura 15 è riportato un disegno del sensore di posizione con soli switch e in figura 16 è riportato lo schema di collegamento e quello interno.

9 - Sistema di rilevamento della posizione del volante

La centralina calcola l'angolo ottimale di iniezione e di accensione. In particolare l'angolo di accensione si calcola in prima approssimazione sul numero di giri/min. del motore, che è ricavabile conoscendo istante per istante l'angolo dell'asse del motore.

Per conoscere istante per istante la posizione dell'asse del motore si usa un sistema schematizzato in figura 17. Una ruota collegata all'asse è divisa sulla sua circonferenza in N parti uguali (di solito $N=60$), $N-2$ delle quali è occupata da un dentino, mentre i due intervalli rimasti sono o privi di denti o i dentini hanno forme particolari, i quali indicano il punto (o i punti) di riferimento (per esempio indicano uniti il pms del primo pistone).

Con il movimento della ruota, un sensore (o da una coppia) che può essere di tipo ad effetto Hall (vedi figura 18), o induttivo, come nello schema di figura 17, costituito da un magnete permanente, collegato da un espansione polare in ferro dolce su cui è avvolto una bobina e posto molto vicino ai dentini che si muovono (riluttanza variabile) avverte il passaggio regolare dei dentini vicino fornendo un segnale periodico come quello di figura 19.

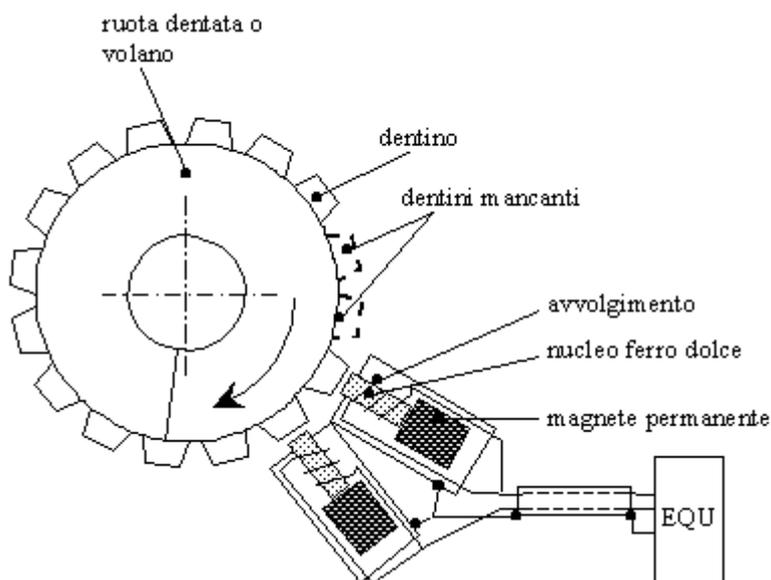


Figura 17 - Rappresentazione schematica del sensore di posizione del volante

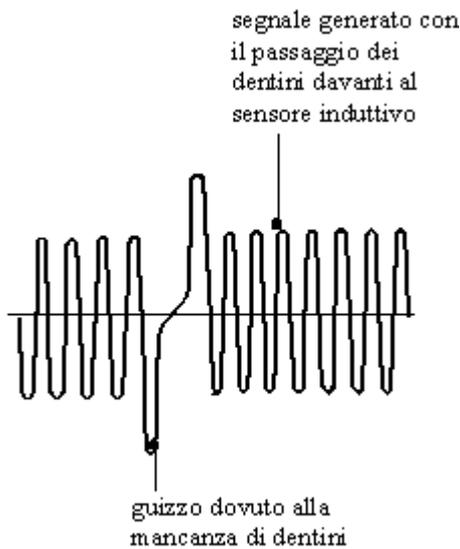


Figura 19 - Segnale generato dal sensore di posizione induttivo del volano, del sistema Motronic montato sulla Citroen Bx19

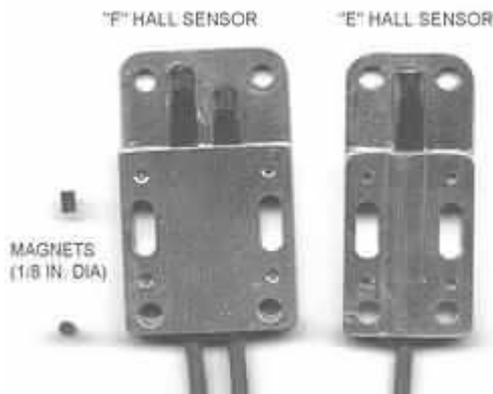


Figura 18 - Sensori ad effetto Hall

Quando si ha il passaggio del punto della ruota dove mancano i due dentini si ha una variazione del segnale periodico. Per il sistema Motronic, montato sulla Citroen Bx19, il segnale ottenuto viene convertito in analogico-digitale e campionato dalla centralina. Se il sensore è ad effetto Hall può essere convertito direttamente in segnale logico. In genere un circuito a se trasforma il segnale in una coppia di segnali (vedi figura 20). Il primo segnale è costituito da sequenze impulsi generati in corrispondenza del passaggio sotto il sensore della coppia di dentini mancanti, mentre il secondo segnale è costituito da impulsi corrispondenti al passaggio dei dentini sotto il sensore. In certi casi è presente un contatore che conta gli impulsi del secondo dei due segnali (quindi conta i denti che passano davanti al sensore), mentre il primo segnale azzerà il contatore. Il risultato del conteggio corrisponde ad una misura approssimata dell'angolo dell'asse motore, e che viene letto e usato dal microcomputer. In altri casi è il microcomputer che esegue il conteggio usando i due segnali a impulsi o il segnale campionato e digitalizzato proveniente direttamente dai sensori.

Il sistema Motronic montato sulla Citroen Bx19, usa un sensore induttivo, il segnale ottenuto ha una tensione picco-picco che varia da 5 V con motore al minimo fino a 100 V con motore sui 6000 giri/min., con una frequenza che raggiunge i 6 KHz. Per questo motivo il sensore ed il collegamento alla centralina, sulla Citroen deve essere schermato come è schematizzato in figura 21.

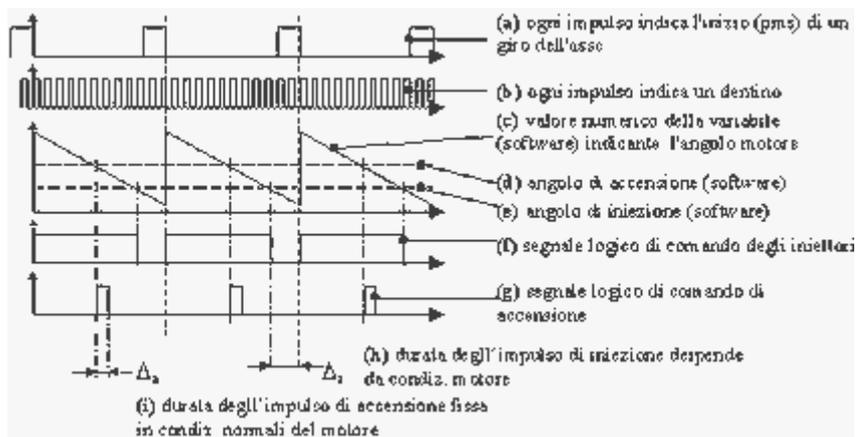


figura 20 - Rappresentazione grafica dei segnali e delle procedure di creazione dei segnali di comando di accensione e iniezione

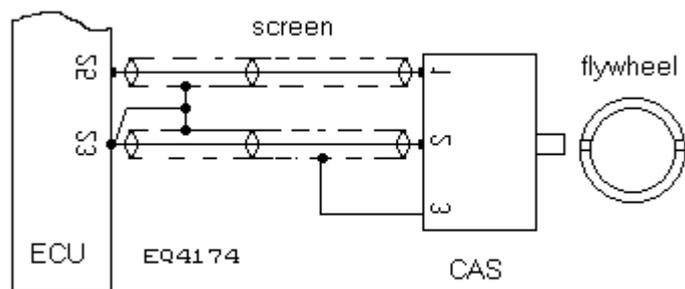


figura 21 - esempio di collegamento sensore di posizione dell volano con la centralina

Nel software del microcomputer del prototipo "efi332", basato su microprocessore Motorola 68332, è implementata una funzione in grado di accorgersi se tra due impulsi c'è un impulso sospetto che può essere stato generato da un disturbo indesiderato, semplicemente confrontando i tempi intercorsi tra due impulsi "buoni" consecutivi e quello in esame rispetto a quelli adiacenti.

10 - Sistemi di pilotaggio delle candele

Quando si presenta il momento opportuno il microcomputer pone una delle linee di uscita a livello logico corrispondente al comando di accensione.

Nei sistemi più vecchi, come nel caso Motronic ML4.1 montato sulla Citroen Bx19, si ha uno schema come quello di figura, il segnale esce dalla centralina per raggiungere un circuito elettronico integrato dedicato, che pilota il primario di un autotrasformatore per ottenere un segnale di alta tensione, che viene mandato ad un distributore meccanico di accensione, costituito da rotore e contatti mobili (come in figura 22), per accendere le candele nella sequenza stabilita. Il circuito di amplificazione, che è esterno per facilitare la sostituzione in caso di rottura, in uscita genera un segnale, limitato in corrente, tale da produrre tra gli elettrodi della candela una scintilla di potenza e durata sufficienti ad innescare la miscela. Anche la durata di accensione è determinata dalla centralina (in fase di avvio è più lunga).

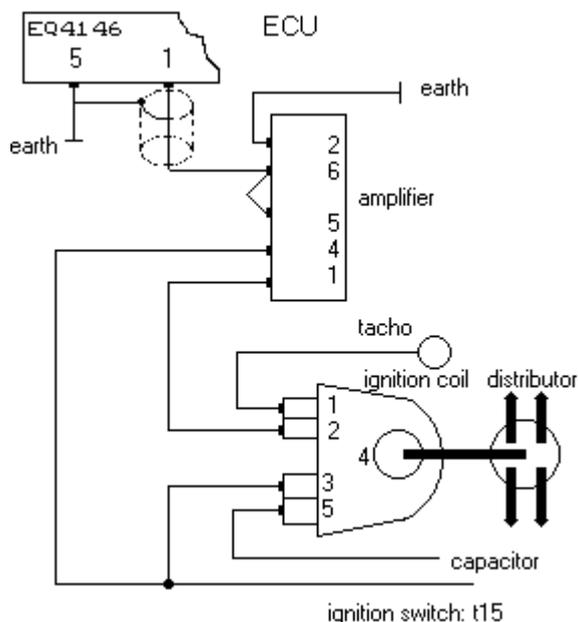


Figura 22 - Schema del circuito di pilotaggio delle candele del sistema Motronic montato sulla Citroen Bx19

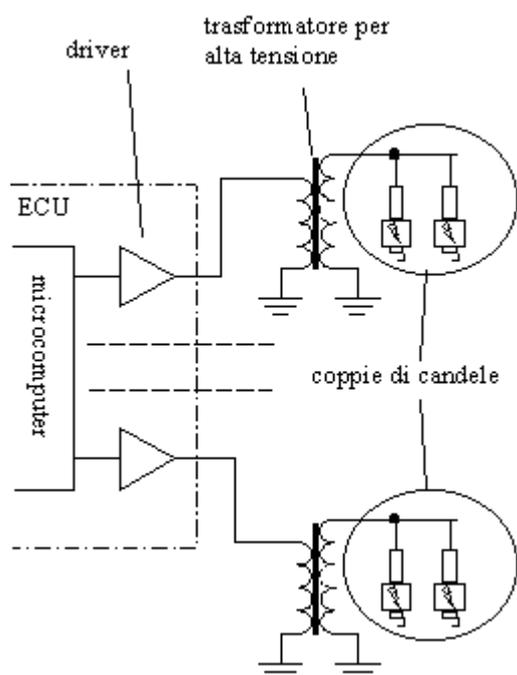


figura 23 - Schema a blocchi del sistema di pilotaggio Punto

Nei sistemi più moderni scompare anche il distributore, in quanto una centralina comanda separatamente e alternativamente coppie di candele, le quali ricevono l'alta tensione per la scarica da un trasformatore (uno per coppia di candele - nel caso di un motore con 4 pistoni si hanno 2 trasformatori vicini situati nei pressi della testa, dove nei motori tradizionali c'era il distributore e le puntine platinato). Il primario di ogni trasformatore è pilotato da un driver, inglobato nella scatola della centralina. Un esempio di driver può essere dello stesso tipo di quello usato per pilotare gli iniettori. In figura 23 si vede uno schema a blocchi del sistema usato sulla Fiat Punto.

RPM	% duty cycle	periodo accensione [ms]	angolo di accensione [°]
avvio	15-30	15-20	-
1000	10-20	6	-
2000	25-35	6	30+/-5
3000	30-40	6	40+/-5

4000	40-50	6	-
------	-------	---	---

Tabella 3 - Dati caratteristici dell'accensione del sistema Motronic ML4.1 montato sulla Citroen Bx19

Vediamo in tabella 3 alcuni dati caratteristici del sistema Motronic montato sulla Citroen Bx19. Come si può vedere, tranne durante l'avvio del motore, la durata dell'impulso durante il quale si ha la scintilla tra gli elettrodi di una delle candele, rimane costante a circa 6 ms, mentre varia solo la frequenza degli impulsi (oltre all'angolo che qui non viene riportato), di accensione.

11 - Sistema di pilotaggio degli iniettori

Il sistema Motronic è del tipo multipoint e apre contemporaneamente tutti gli iniettori (4 iniettori uno per cilindro) per due volte ad ogni ciclo del motore, cioè viene iniettato ad ogni giro dell'asse motore circa la metà del carburante necessario.

La frequenza di iniezione e quindi del suo segnale di comando è pari alla frequenza dell'asse (vale a dire numero di giri/min. / 60 = da 14 a 100 Hz). L'angolo di iniezione è fisso.

Per variare il dosaggio di carburazione si varia solo il duty cycle. Per il sistema Motronic della Citroen Bx19 si hanno le caratteristiche di dosaggio come in tabella 4.

RPM	motore freddo		motore caldo	
	% duty cycle	frequenza	% duty cycle	frequenza
avvio	4	3.6	4	10
minimo	5.5-6.5	18	3-5	15
2000	-	-	7-9	33
3000	-	-	11-13	50
rapida accelerazione	-	-	20	33
decelerazione	-	-	0	-

Tabella 4 - Dati caratteristici di iniezione del sistema Motronic MI4.1 montato sulla Citroen Bx19

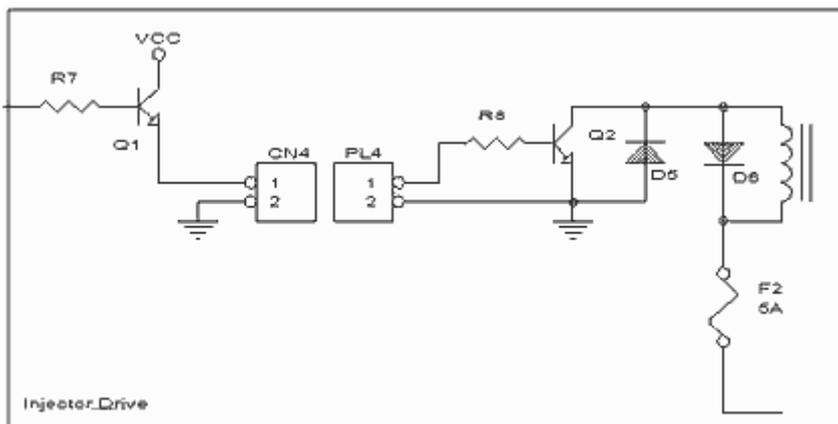


Figura 24 - Schema elettrico di esempio per un driver per l'elettroiniettore o del primario del trasformatore

In figura 24 si può vedere un esempio di schema di driver per elettroiniettore, destinato ad un prototipo (casalingo) progettato da Al Lipper. L'elettroiniettore è schematizzato con un'induttanza, ma

può essere sostituito dal primario di un trasformatore del sistema di accensione. L'impedenza caratteristica di un elettroiniettore usato sulla Citroen Bx19 con sistema Motronic è dell'ordine della decina di ohm (14 – 17 ohm).

12 - Il microcomputer

In figura 25 si può vedere uno schema a blocchi di un microcomputer, come quello montato sulla Citroen Bx19 con sistema Motronic ML4.1 della Bosch. Il clock del sistema è di 6 MHz. Per questo sistema, e probabilmente per tutti i sistemi commerciali, non sono disponibili le sigle o i nomi dei componenti e dei microprocessori. In Internet sono disponibili alcuni documenti e progetti di prototipi sviluppati per ragioni di studio o per semplice passione.

Uno di questi si chiama EFI332 basato su microprocessore Motorola MC68332 a 32 bit che è simile ad un Mc68020 ma con alcune istruzioni speciali di controllo. La frequenza di clock è tra i 16MHz ai 25Mhz. La memoria RAM del sistema è compresa tra 64 Kbyte a 256 Kbyte in forma di 32k x 16 bit oppure 128k x 16 bit. Il linguaggio di programmazione gcc (che dovrebbe essere il C usato in ambiente Unix).

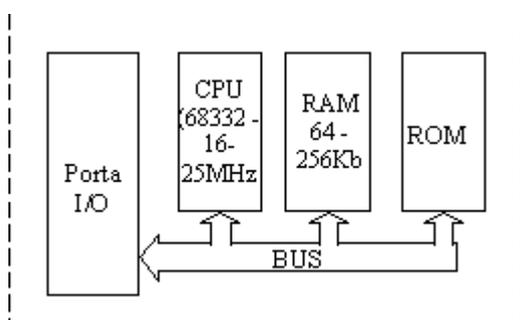


Figura 25 - Schema a blocchi del microcomputer

Un altro prototipo (molto singolare), progettato da Al Lipper, usa come microcomputer un PC IBM a 4.77 MHz, programmato in BASIC, con scheda di I/O costruita usando l'integrato 8255 di porte programmabili.

I valori ottimali di durata ed angolo di accensione, durata di iniezione, in funzione dei parametri, è ottenuta mediante mappaggio. In una determinata posizione della memoria ROM sono contenuti in forma di tabella (a 2 o più dimensioni), tutti i valori ottimali necessari, in funzione dei parametri in ingresso.

Nel caso dell'angolo di anticipo, per il sistema Motronic ML4.1 della Citroen Bx19, la tabella è a due dimensioni : numero di giri/min. e carico (cioè posizione della valvola a farfalla). Per un certo numero di valori di numero giri e diverse condizioni di carico viene associato un certo angolo di accensione. Nel caso della durata di iniezione, si esegue prima una approssimazione tramite mappaggio (le caratteristiche della tabella variano molto da modello a modello di vettura , ma in genere la tabella è a 2 dimensioni numero giri/quantità di aria - ottenuta tramite mappaggio flusso/temperatura)), mentre si eseguono delle correzioni tramite opportuni fattori in relazione ad altri parametri (sonda lambda). Per le condizioni di esercizio particolari (avvio, riscaldamento, decelerazione, ...) sono definiti dei programmi appositi.

Ogni mappa viene ricavata sperimentalmente essendo che le caratteristiche del motore variano tra vetture di modelli diversi.

Questo modo di calcolo è apparentemente grossolano, ma risulta comunque un sistema di ottimizzazione migliore per ogni condizione del motore, di quella ottenuta nel motore tradizionale. In figura 26 è riportato uno schema di flusso di massima della sequenza di operazioni eseguite dal microcomputer, ricostruito sulla base delle informazioni precedentemente descritte sull'impiego dei vari sensori.

leggenda delle variabili del diagramma di flusso

pc abbreviazione di "posizione chiave" che indica con un intero la posizione della chiave nel

cruscotto, 0 = spento, 1 = funzionamento normale, 2 = accensione motore

ms abbreviazione di “motore spento” che indica con una variabile booleana se il motore è acceso o spento

mf abbreviazione di “motore freddo” ed è una variabile booleana

Ng abbreviazione di “numero di giri/min.”

LMA abbreviazione di “limite motore acceso” cioè una costante pari al numero minimo di giri che deve avere il motore affinché si possa considerare acceso

fr abbreviazione di “fase di rilascio” ed è una variabile booleana che indica la condizione in cui la valvola a farfalla è completamente chiusa o no

M abbreviazione di “minimo” ed è una costante che indica il numero di giri massimo che deve avere il motore per essere in condizione di minimo

fl abbreviazione di “full load” cioè pieno carico, ed è una variabile booleana che indica la condizione in cui la valvola a farfalla è completamente aperta oppure no

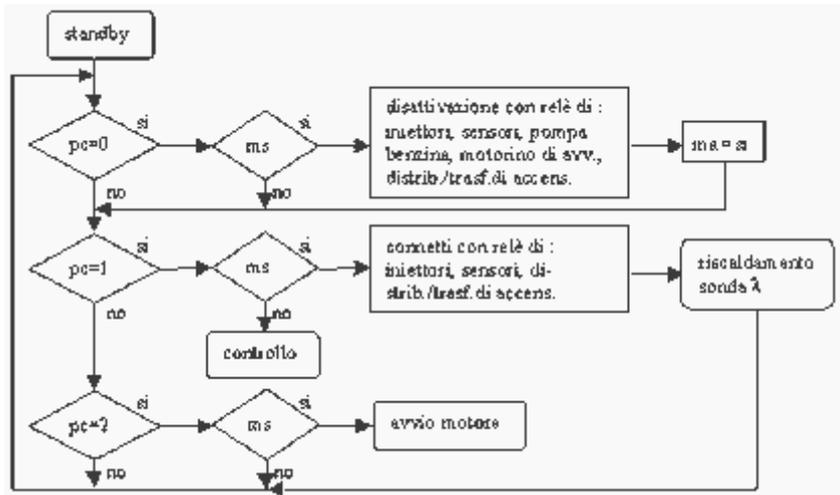


Figura 26 a - Diagramma di flusso del programma standby eseguito dalla centralina con motore spento

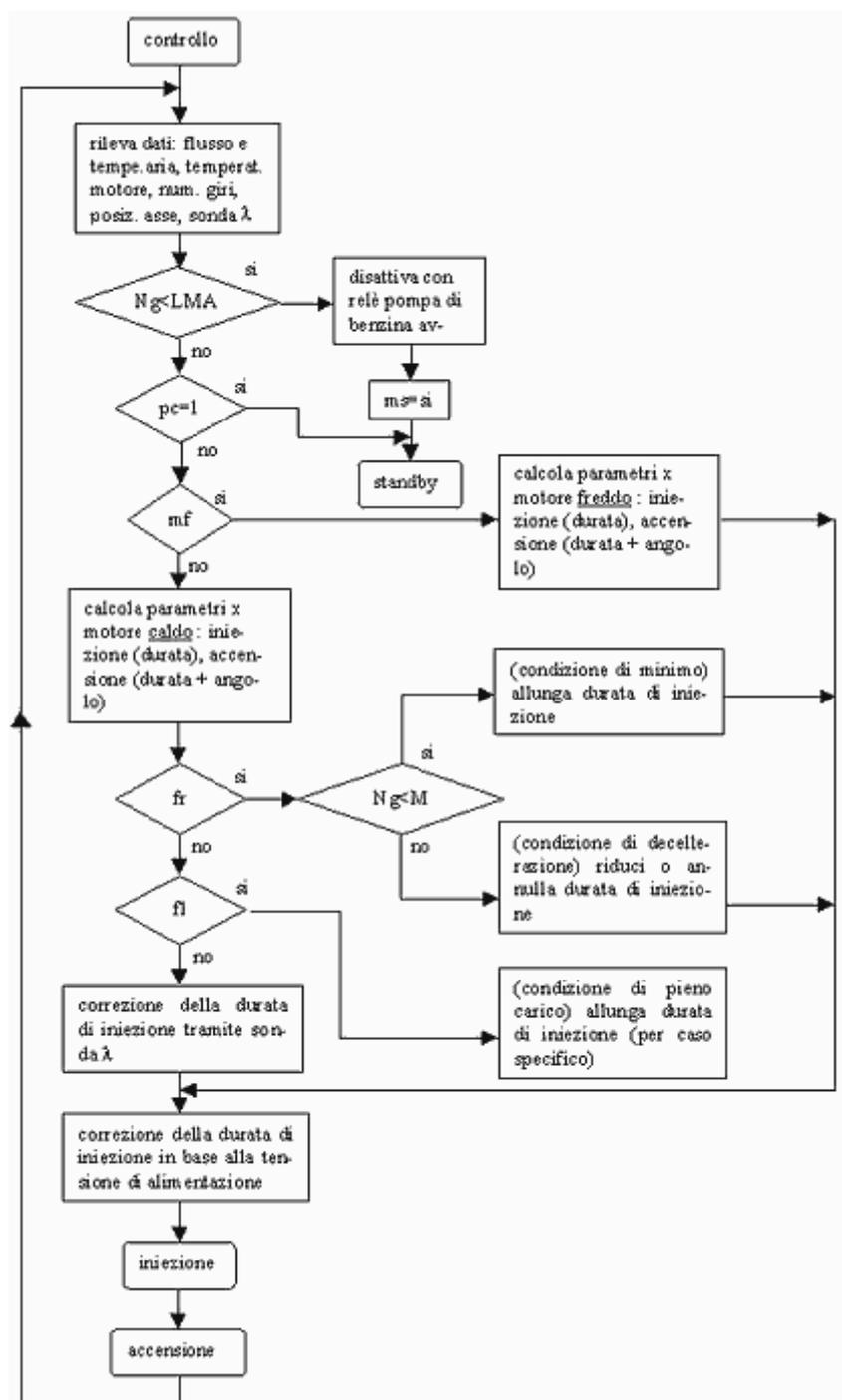


Figura 26 b - Diagramma di flusso del programma di avvio del motore

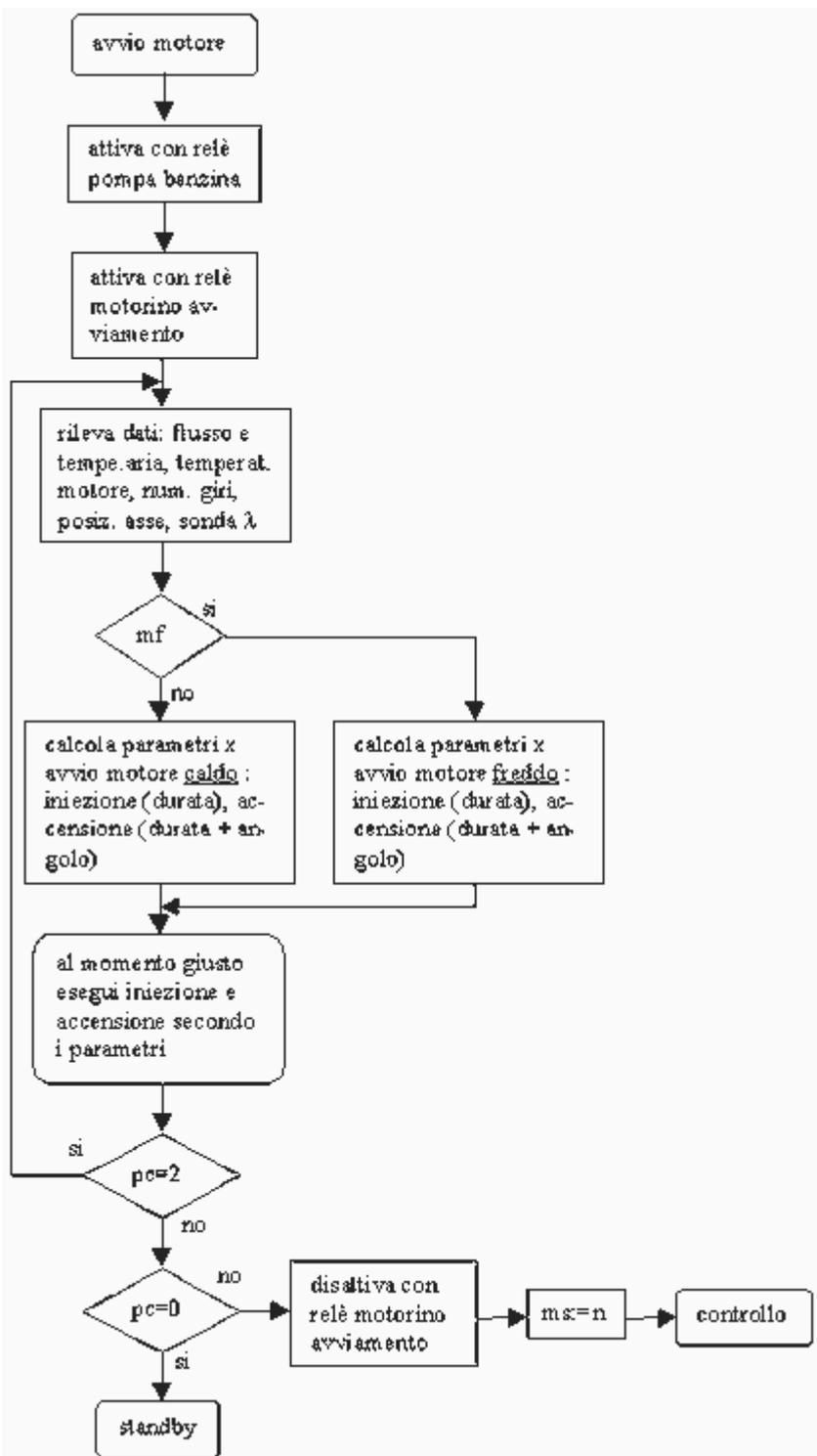


Figura 26 c - Diagramma di flusso del programma di controllo del motore acceso

13 - Conclusioni

Riassumiamo con la tabella 5 il confronto vantaggi/svantaggi tra motori tradizionali (cioè a carburatore e con angolo di accensione fisso) e mediante controllo con centralina.

	motore a carburazione tradizionale e accensione fissa	motore a iniezione + accensione elettronica
semplicità costruttive/manutenzione	buona	complessa
costo	relativamente basso	relativamente alto
posizione che deve assumere il motore per funzionare correttamente	quella definita in fase di progetto	qualsiasi
formazione di ghiaccio nel condotto di aspirazione	si nel tubo di venturi	no
possibilità di avio del motore a spingendo la vettura si no	si	no
funzionamento con aria rarefatta	-	si tenendo conto della pressione
avvio a freddo	difficoltosa	nessun problema
partenza a freddo	a scatti (difficoltosa)	nessun problema
coppia	buone intorno ad un certo numero di giri fissato in fase di progetto (vedi grafico in figura 27)	quasi costante ad ogni regime (vedi grafico in figura 27)
potenza	crescente fino a circa 4500?5000 giri/min. (vedi grafico in figura 27)	crescente fino a circa 6000?7000 giri/min. (vedi grafico in figura 27)
angolo di accensione	angolo ottimale intorno ad un certo numero di giri fissato in fase di	ottimale per la maggior parte dei regimi

	progetto	
qualità scintilla di accensione (energia e durata)	con sistema a batteria e spinterogeno c'è difficoltà di ottenere una scintilla di durata ed energia sufficienti a regimi alti e in fase di avvio	durata fissata dal programma, sempre uguale per ogni regime, aumentata in fase di avvio del motore; energia definita dall'hardware.
rapporto stechiometrico iniezione	povero a regimi bassi, ricco ad alti regimi; rischio di detonazioni.	ottimali per condizioni normali; particolare per specifiche condizioni (minimo, motore freddo, avvio, pieno carico, decelerazione)
consumi	-	-
riduzione intelligente consumi	-	regola il flusso di carburante esatto in fase di minimo e di avvio a freddo; riduzione o azzeramento della quantità di carburante iniettata in fase di decelerazione della vettura o in discesa
inquinamento	-	ridotta con l'uso di marmitta catalitica e sonda lambda

Tabella 5

In figura 27 si può vedere il grafico delle curve di potenza e coppia sviluppate a vari regimi rispettivamente dai motori controllati da centralina elettronica (a) e motori tradizionali (b).

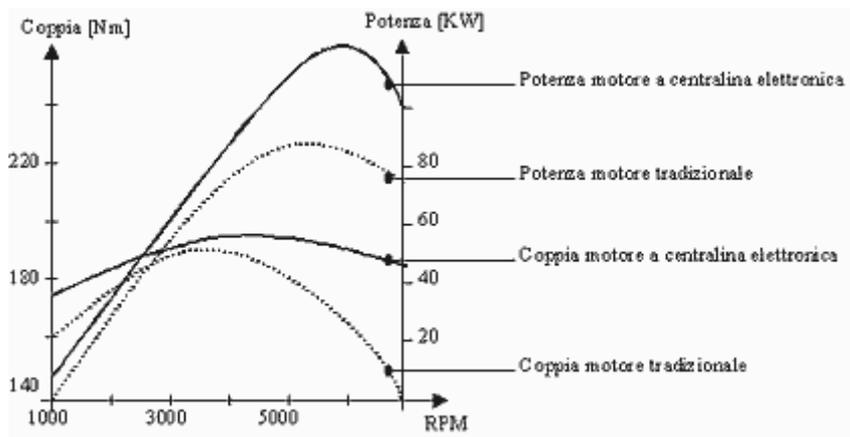


Figura 27 - Grafico di coppia e potenza sviluppati da motori tradizionali e a controllo elettronico, in funzione del numero di giri