

ACCADEMIA NAVALE
1° ANNO CORSO APPLICATIVO GENIO NAVALE

CORSO DI
IMPIANTI DI PROPULSIONE NAVALE

Lezione 06

Motori a combustione interna
parte C

A.A. 2011 /2012

Prof. Flavio Balsamo

Motori a combustione interna

Iniezione

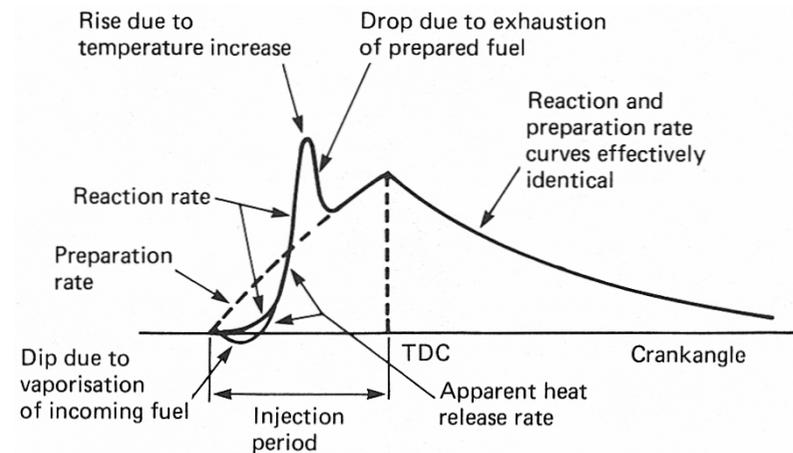
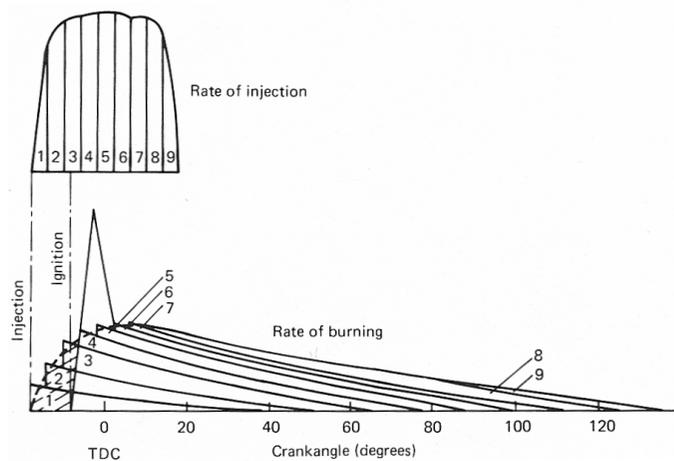
Il sistema di iniezione ha il compito di inviare al cilindro la quantità di combustibile tale da ottenere l'erogazione della potenza desiderata.

Si è visto che l'andamento della pressione nel cilindro è fortemente influenzato dalla tempistica con cui il combustibile viene iniettato in camera di combustione.

Affinché il funzionamento del motore sia regolare è necessario che la quantità di combustibile iniettata per ogni ciclo sia costante se si desidera che tale sia il regime di moto del motore, oppure che assuma prontamente il valore adeguato alle mutate condizioni di funzionamento.

Il sistema di iniezione dovrà essere in grado di dare inizio all'immissione del combustibile in corrispondenza dell'angolo di manovella stabilito con una sufficiente precisione (meno di 1°)

Inoltre l'iniezione dovrà essere dosata nel tempo in maniera opportuna, dato che il rilascio di calore nella combustione sarà dipendente dall'andamento istantaneo della quantità iniettata



Motori a combustione interna

Iniezione

Durante l'iniezione il combustibile deve essere opportunamente suddiviso in goccioline di piccolo diametro per favorire la combustione, ridurre il ritardo all'accensione ed inoltre evitare la formazione di incombusti.

Infine è necessario che le goccioline di combustibile oltre ad essere finemente polverizzate siano dotate di una sufficiente energia cinetica per diffondersi in profondità nella camera di combustione e reagire con la maggior quantità di ossigeno disponibile.

A tale scopo le pressioni di iniezione che si raggiungono superano notevolmente il centinaio di MPa, in maniera che la velocità delle goccioline di combustibile, di diametro medio pari a $20\mu\text{m}$ ($\pm 10\mu\text{m}$), superi i 200 m/s, secondo la nota relazione della velocità di efflusso attraverso una luce.

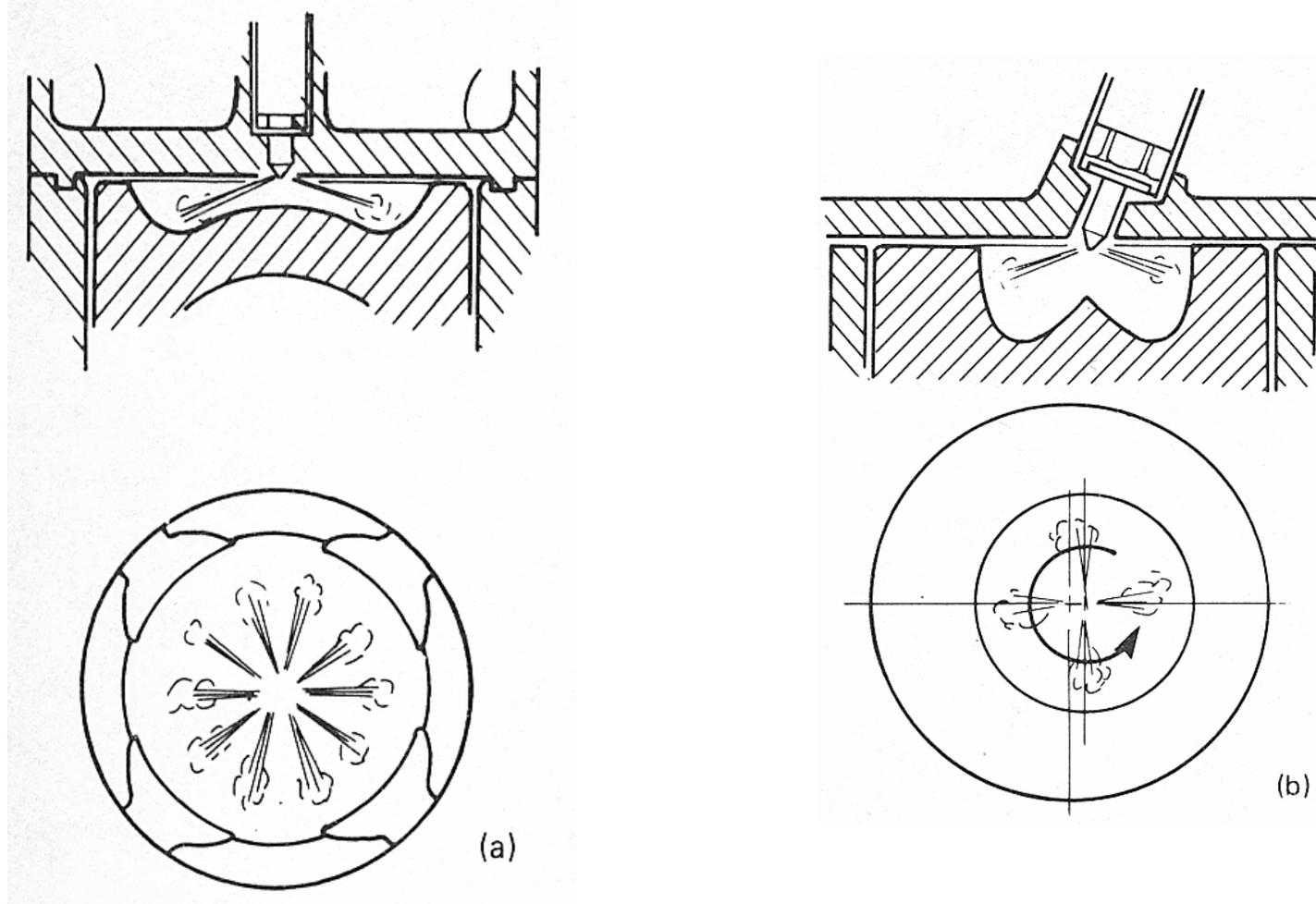
$$v = \varphi \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

Tali elevatissime pressioni vengono realizzate utilizzando pompe volumetriche alternative, dette pompe di iniezione, alimentate a loro volta da pompe volumetriche a minore pressione che hanno il compito di aspirare il combustibile dalla cassa giornaliera.

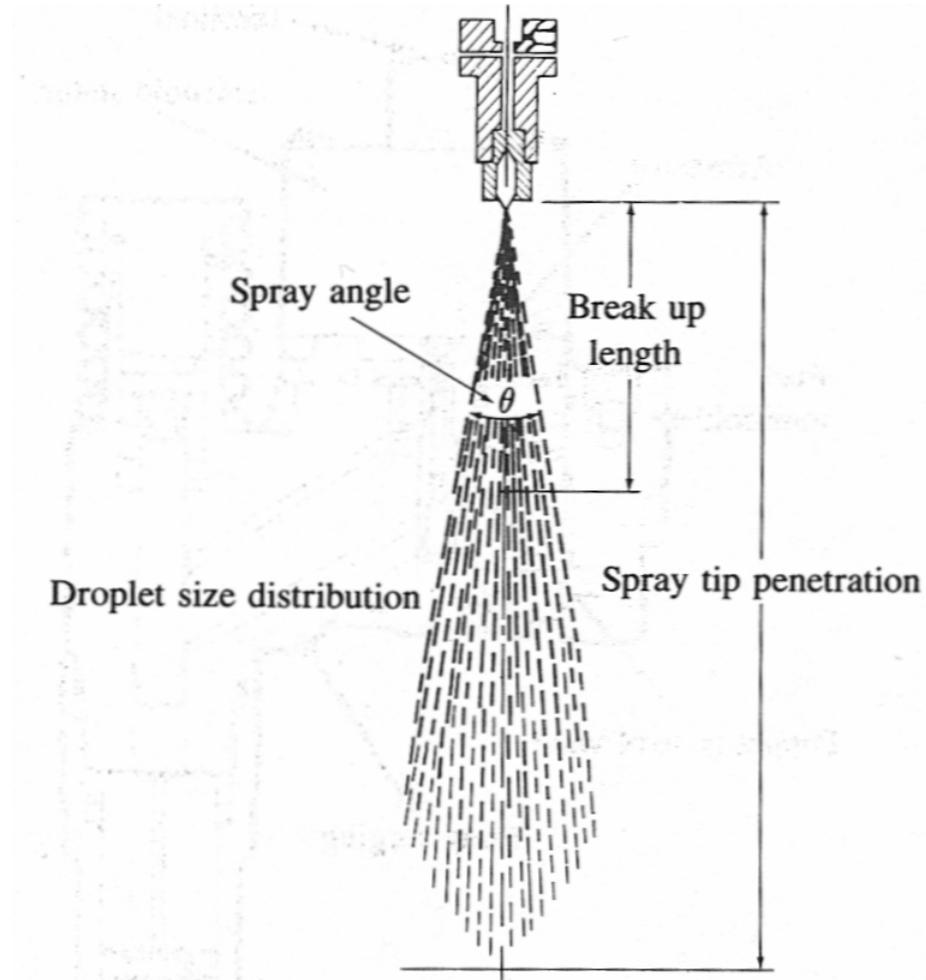
La velocità di efflusso dipende in una certa misura anche dalla quantità di combustibile da erogare e dal tempo in cui ciò deve avvenire, considerando la velocità di rotazione del motore.

Motori a combustione interna

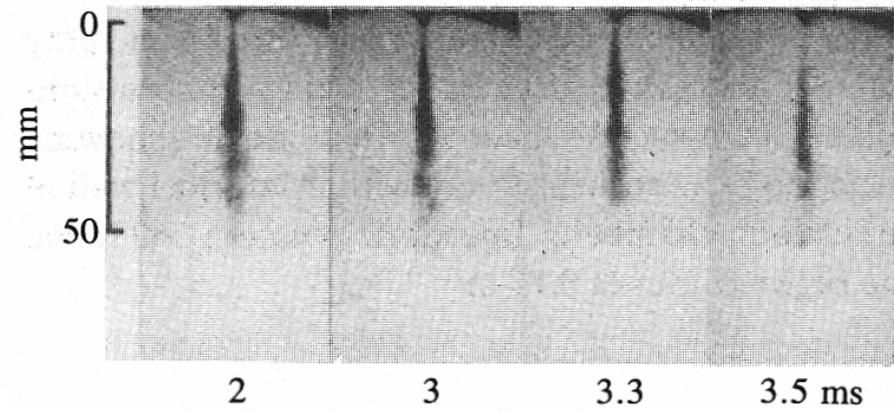
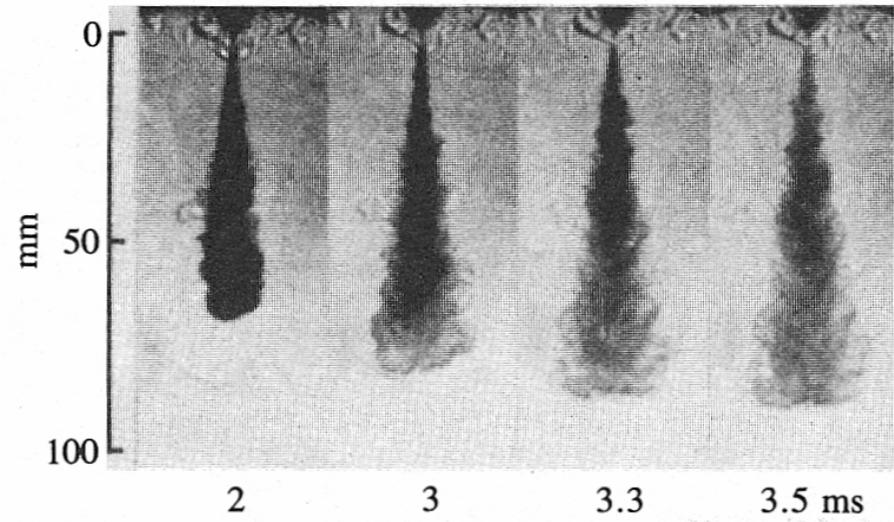
Per avere la migliore turbolenza possibile l'iniezione deve essere accordata alla turbolenza che si verifica in camera di combustione.



Motori a combustione interna

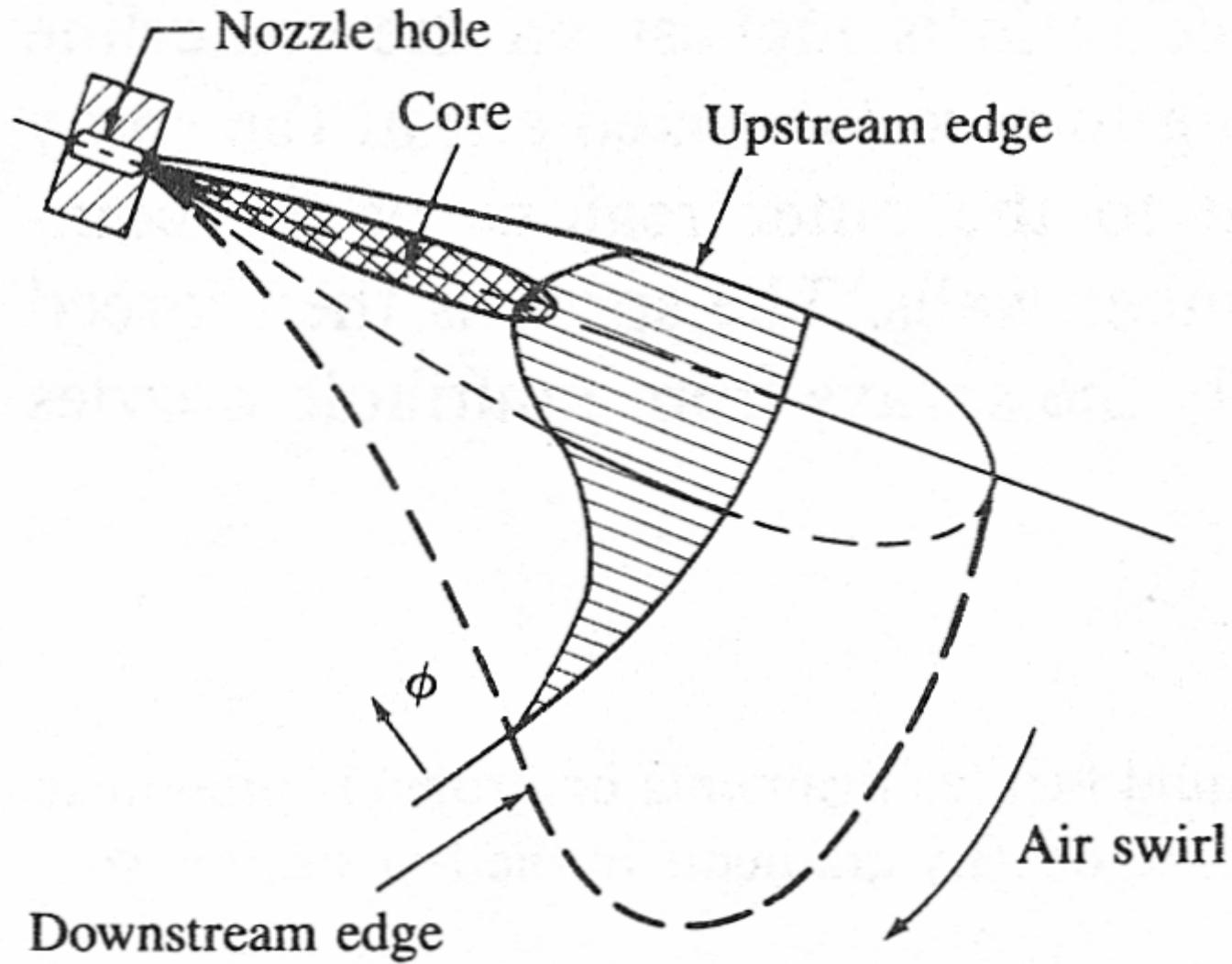


vapore+liquido

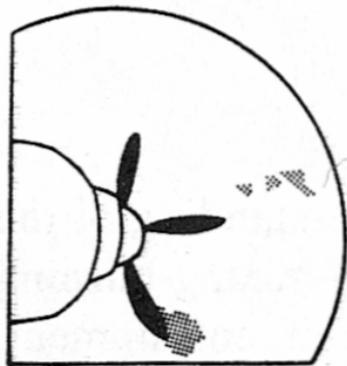


solo liquido

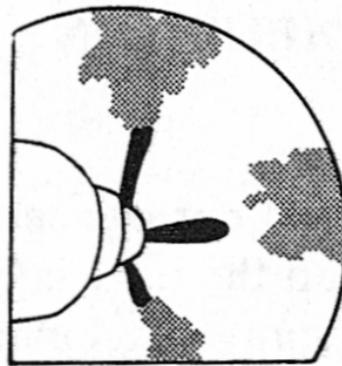
Motori a combustione interna



Motori a combustione interna



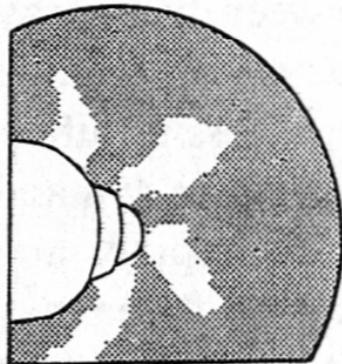
A. 1.17 ms after SOI



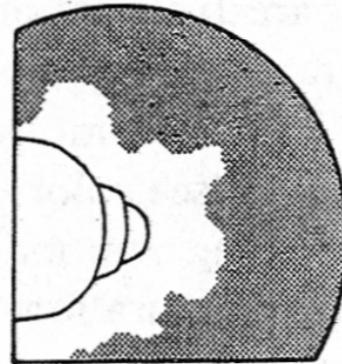
B. 0.13 ms after A



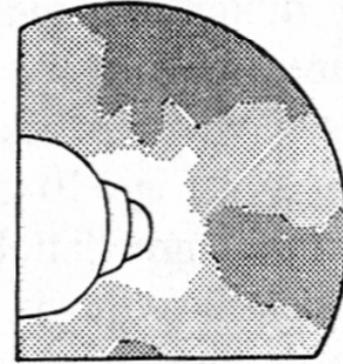
C. 0.65 ms after A



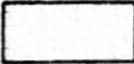
D. 2.6 ms after A



E. 3.1 ms after A



F. 5.6 ms after A

 Air or fuel-air mixture

 Liquid fuel

 Luminous flame

 Combustion products

Motori a combustione interna

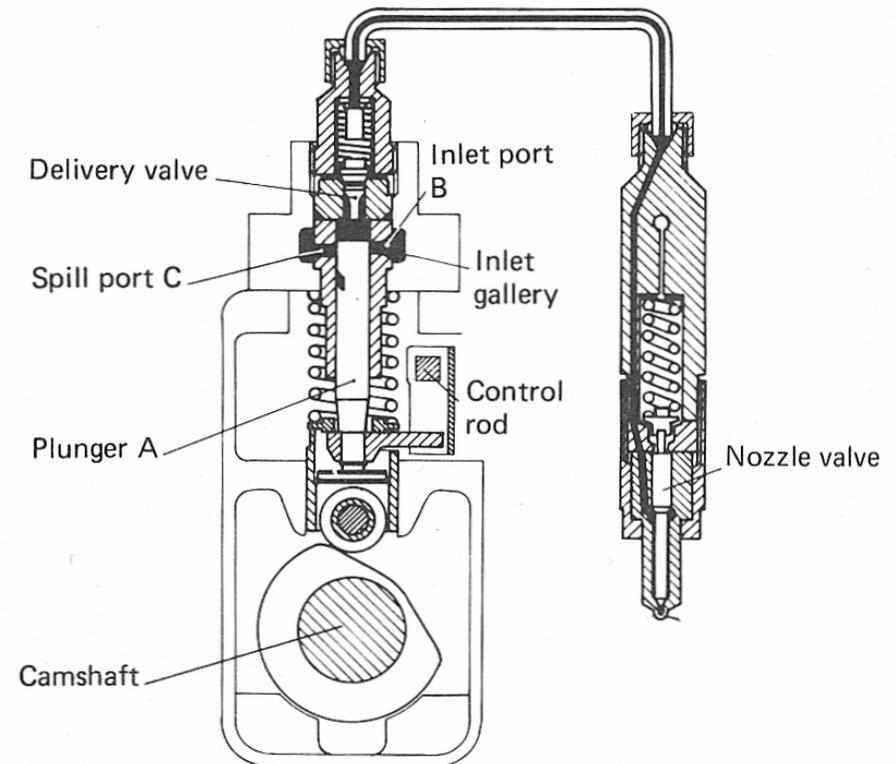
Iniezione

Il dispositivo in grado di fornire le elevate pressioni al combustibile per la sua immissione in camera di combustione è la pompa di iniezione.

Si tratta di una pompa volumetrica alternativa costituita da un pistoncino che viene azionato da una camma ricavata su un albero mosso dal motore stesso.

Il numero di elementi pompanti è generalmente pari al numero di cilindri; l'iniezione del combustibile in piccole particelle viene realizzata da un ulteriore dispositivo che è l'iniettore, che è il dispositivo che, sistemato sulla testata del motore, immette il combustibile in camera di combustione

Fa parte integrante del gruppo anche la tubazione di collegamento tra pompa ed iniettore.



Motori a combustione interna

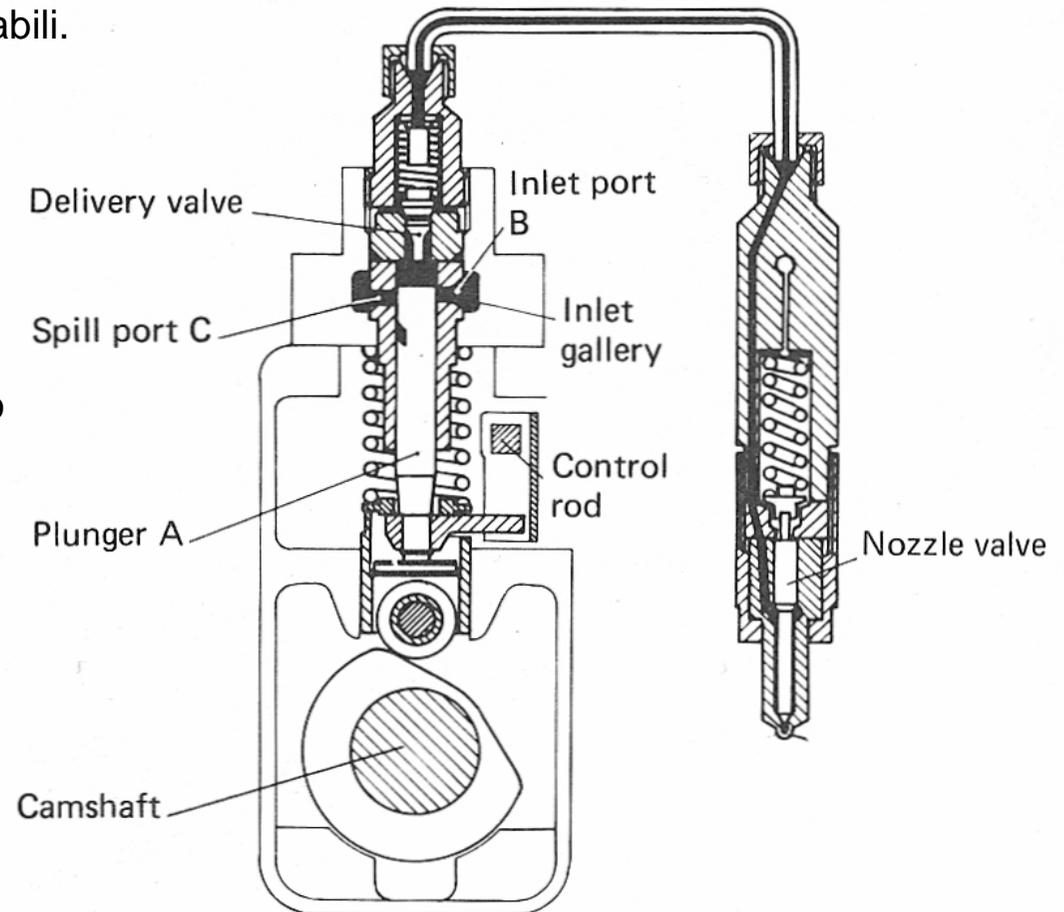
Iniezione

Il moto della camma determina il sollevamento del pistoncino della pompa, che comprime il combustibile fino ad una pressione tale da sollevare l'ugello dell'iniettore e consentire al combustibile di fluire in camera di combustione

La pressione cui viene sottoposto il combustibile raggiunge attualmente i 2000 bar (200MPa). La tenuta tra cilindro e pistoncino è assicurata da una lavorazione accuratissima, il lasco è di pochi micron, per cui in caso di avaria ad uno degli elementi la sostituzione deve riguardare sia il cilindro che il pistoncino, che non sono intercambiabili.

Dato che il profilo della camma non varia, la corsa del pistoncino sarà sempre uguale; bisogna però consentire la necessaria variazione della quantità di combustibile pompata per ciclo

Allora durante la salita del pistoncino la zona in pressione viene messa ad un certo punto in comunicazione con una luce di scarico, per cui la pressione si abbassa e l'iniezione si arresta.



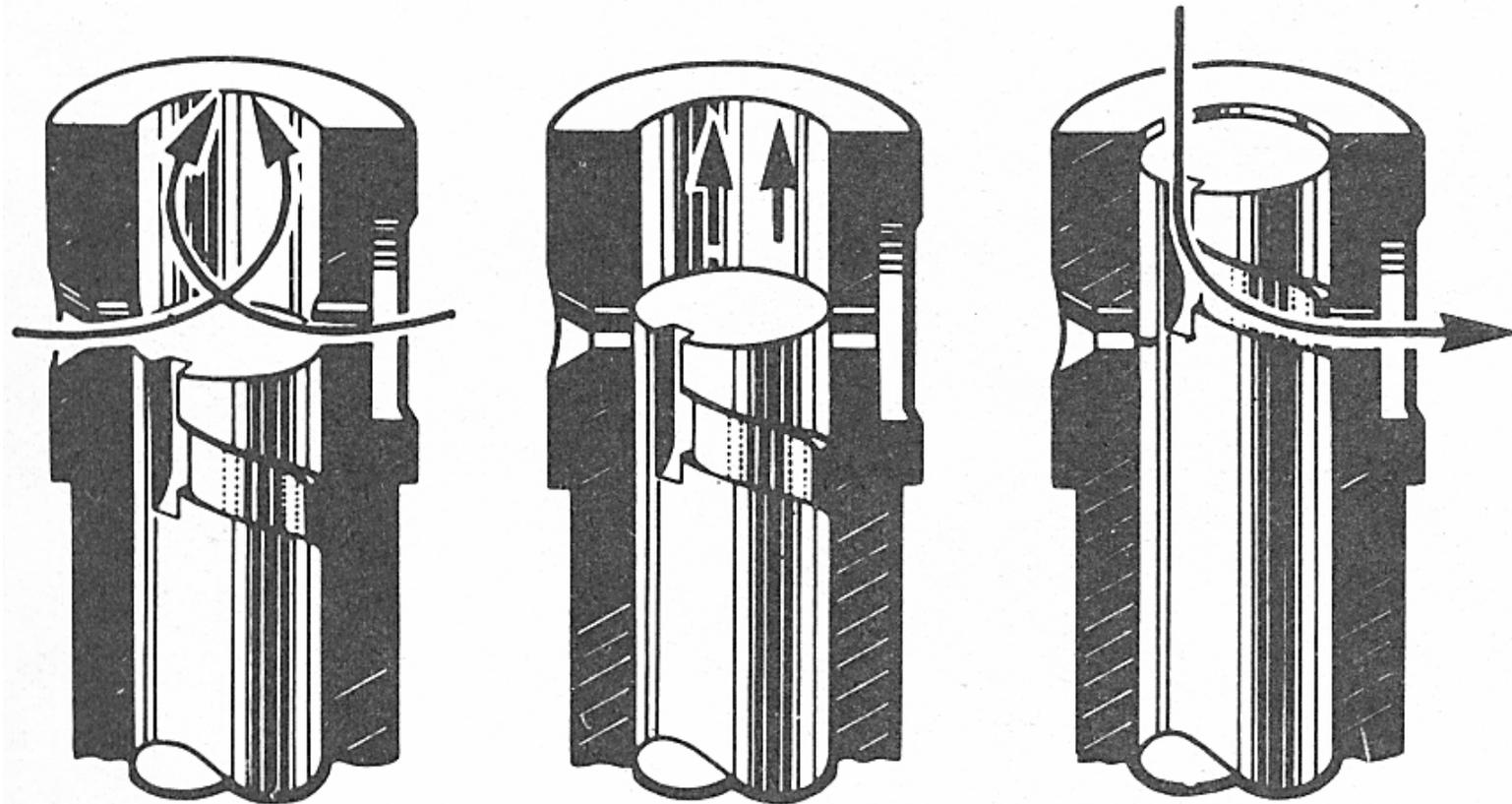
Motori a combustione interna

Iniezione

Infatti nel cilindro sono ricavate due luci, una di ingresso del combustibile e l'altra di uscita; quando il pistone è inattivo nella posizione di riposo la camera sopra di esso è riempita di combustibile.

Quando il pistone comincia la sua corsa, ad un certo punto copre la luce di ingresso; la pressione comincia rapidamente a salire e l'iniezione ha inizio.

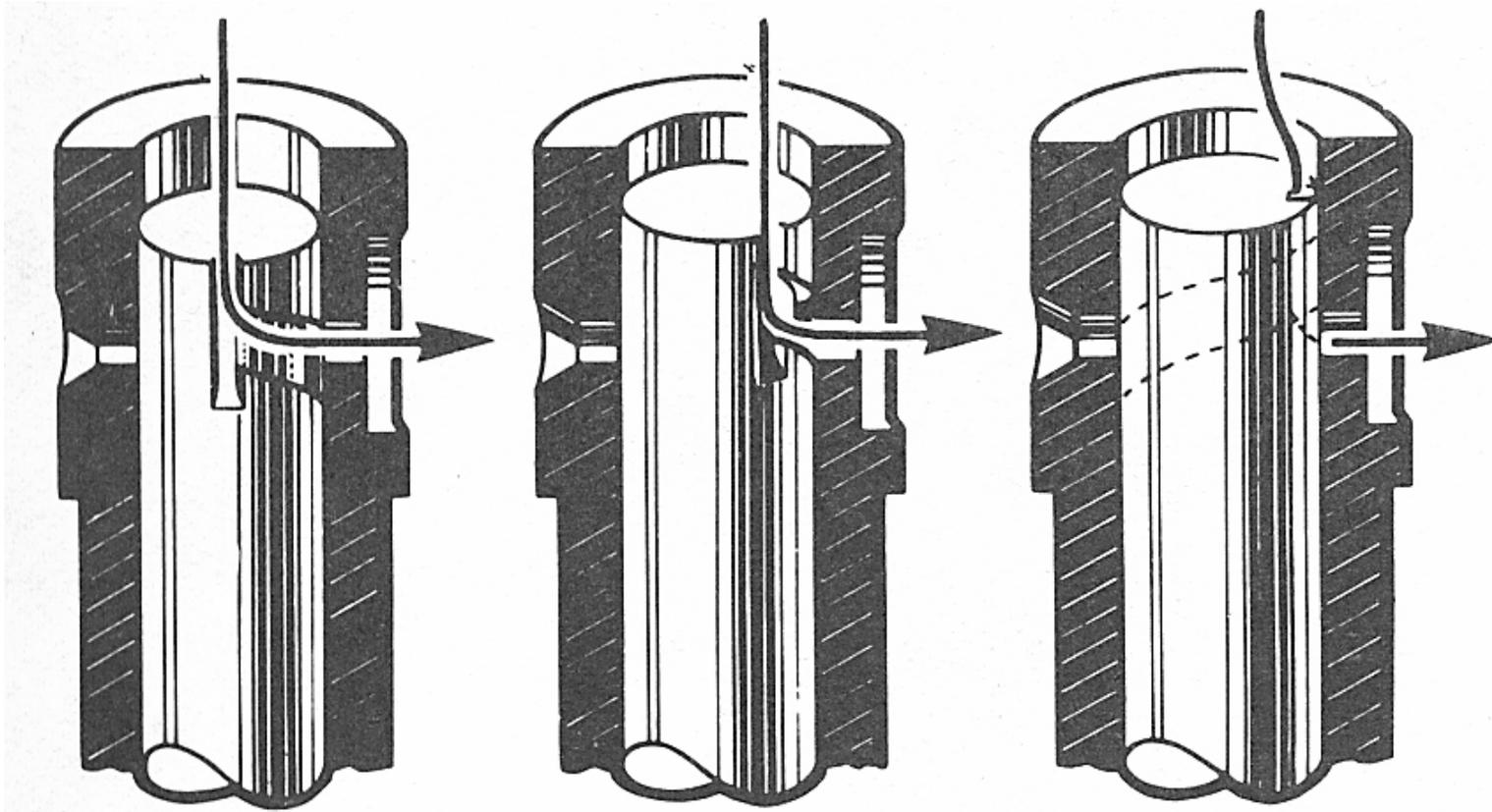
Continuando la sua corsa una scanalatura elicoidale ricavata nel pistone mette in comunicazione lo spazio in pressione con la luce di scarico e quindi l'iniezione termina.



Motori a combustione interna

Iniezione

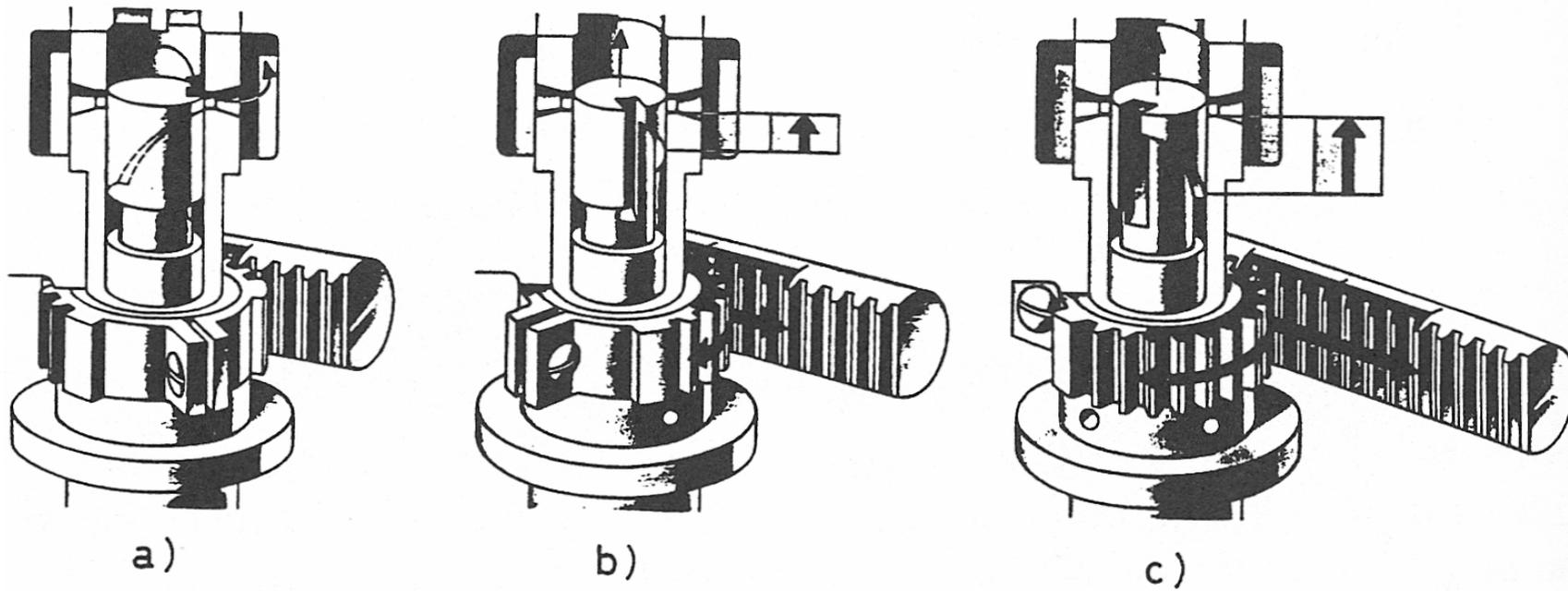
Per effetto della scanalatura elicoidale, il pistoncino ruotando cambia la sua corsa utile, e quindi si può passare dalla erogazione della quantità di combustibile necessario per la potenza massima a quella per mantenere il motore al regime minimo, fino alla condizione in cui la quantità iniettata è nulla ed il motore si arresta.



Motori a combustione interna

Iniezione

La variazione della quantità di combustibile iniettata per giro si ottiene tramite la rotazione dei pompanti di tutte le pompe di iniezione realizzata dalla cosiddetta asta a cremagliera, (fuel rack).



Motori a combustione interna

Iniezione

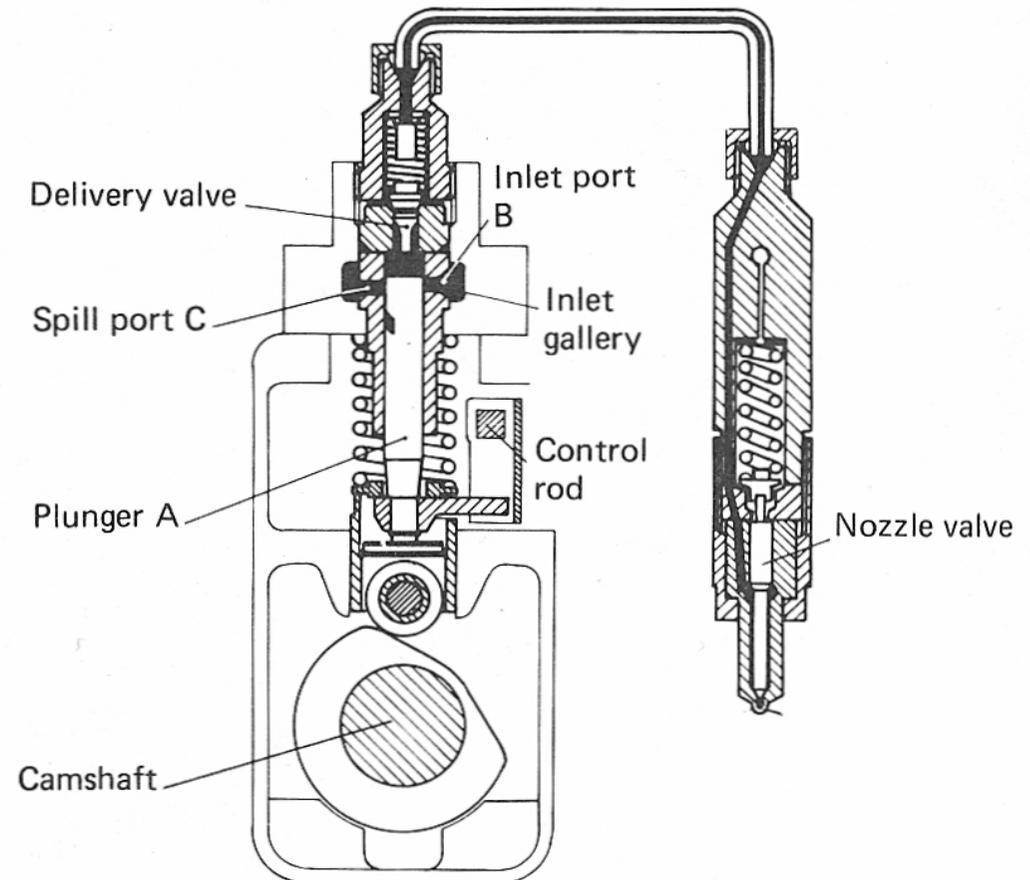
Immediatamente sopra il pistoncino si posiziona una valvola di non ritorno, detta delivery valve, che ha la funzione di non consentire lo svuotamento della tubazione nella fase di discesa del pistoncino.

L'incremento di pressione nella camera sopra il pistoncino determina l'apertura della valvola e la generazione di un'onda di pressione che si propaga lungo la tubazione fino all'iniettore alla velocità del suono nel combustibile, dipendente dal modulo di elasticità e dalla densità, quindi dalla temperatura.

A causa delle alte pressioni in gioco non si può trascurare la deformabilità delle pareti della tubazione, così come l'attrito lungo le pareti.

L'onda di pressione raggiunge la valvola a spillo sull'iniettore e, nel caso la sua ampiezza sia maggiore della pressione esercitata dalla molla, ne determina l'apertura.

Essa viene altresì riflessa e percorre a ritroso la tubazione, subendo ulteriori riflessioni.



Motori a combustione interna

Iniezione

Una possibile conseguenza di questa onda riflessa potrebbe essere la riapertura indesiderata della valvola di iniezione dopo che si è conclusa la fase di iniezione.

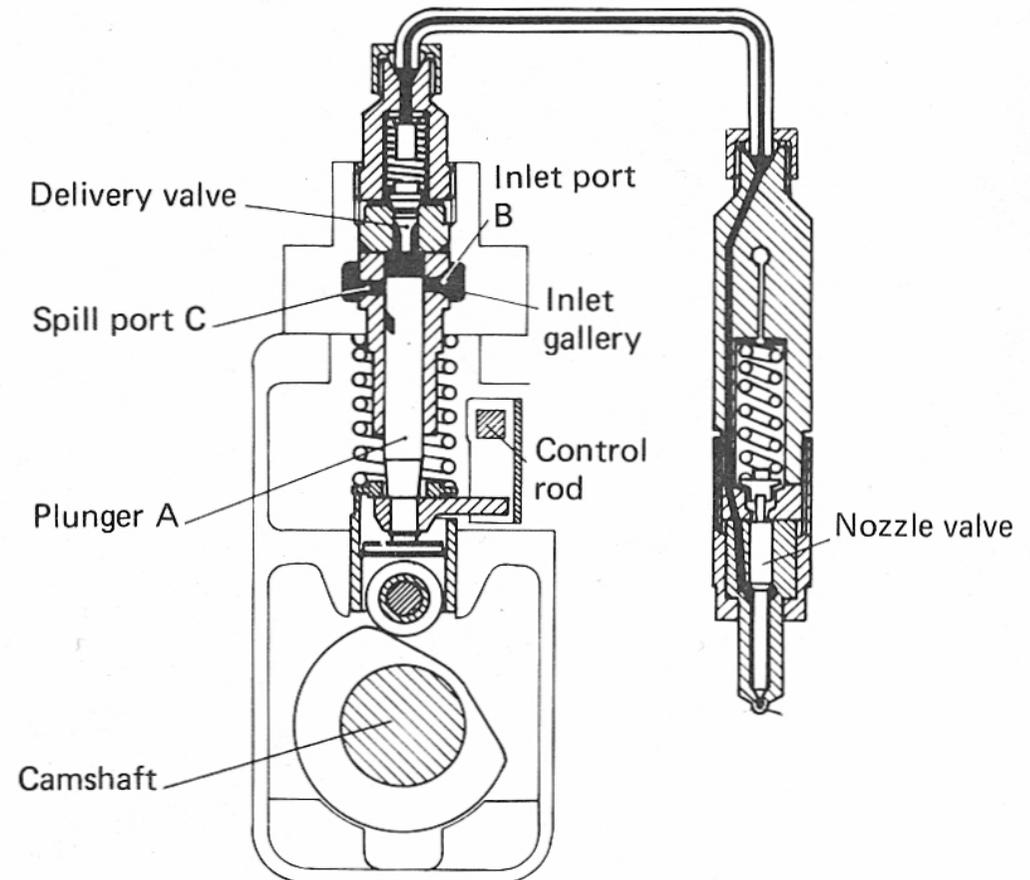
Si deve tener presente che i fenomeni descritti avvengono in tempi molto brevi.

Si deve tener presente che i fenomeni descritti avvengono in tempi molto brevi, nell'ordine dei millesimi di secondo.

L'inizio della iniezione avviene quando la valvola di non ritorno sulla testa della pompa si apre, ovvero quando la pressione che si viene a generare sopra il pistoncino lo consente.

Per alte velocità ciò può accadere anche prima che il pistoncino abbia coperto la luce di ingresso del combustibile, per cui l'effettiva iniezione comincia quando il pistoncino si trova più in basso ed il volume che si troverà a pompare sarà maggiore.

La determinazione della esatta quantità di combustibile da inviare così come la durata della iniezione rappresenta quindi un problema molto importante



Motori a combustione interna

Iniezione

L'elemento finale del sistema di iniezione è costituito dall'iniettore che, sistemato opportunamente sulla testata del motore, ha il compito di inviare il combustibile in camera di combustione.

Il combustibile in pressione solleva l'otturatore la cui parte terminale a spillo consente il passaggio del fluido attraverso uno o più fori. L'otturatore è mantenuto chiuso dalla pressione esercitata da una molla. Quando la valvola è chiusa la pressione agisce so

I parametri da considerare sono:

numero di fori

pressione di apertura

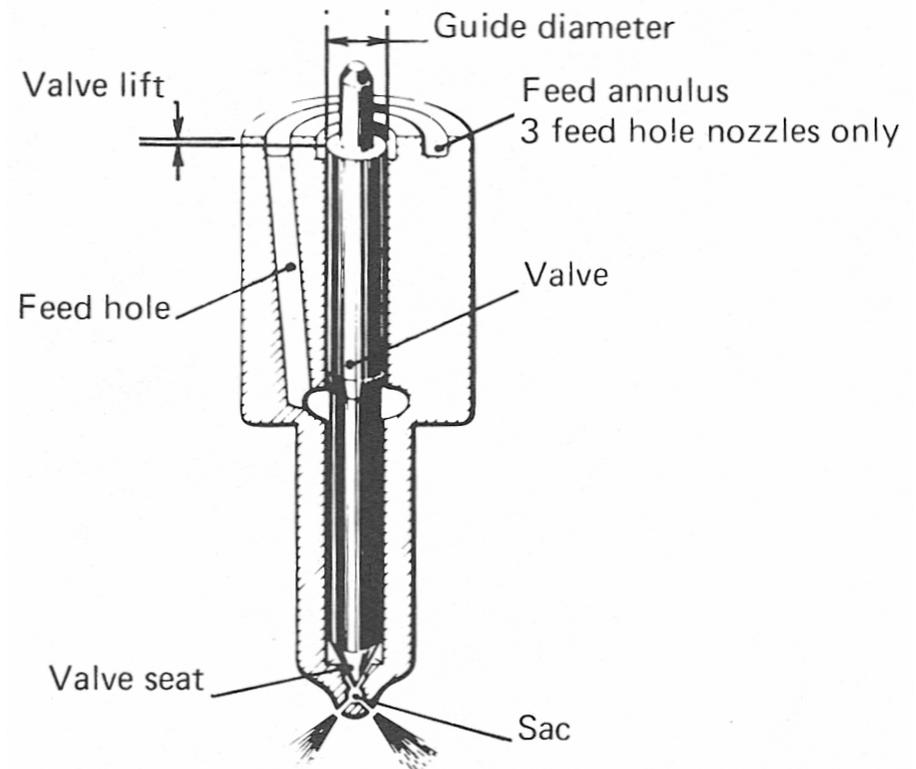
rapporto area valvola/area seggio

la massa dell'otturatore

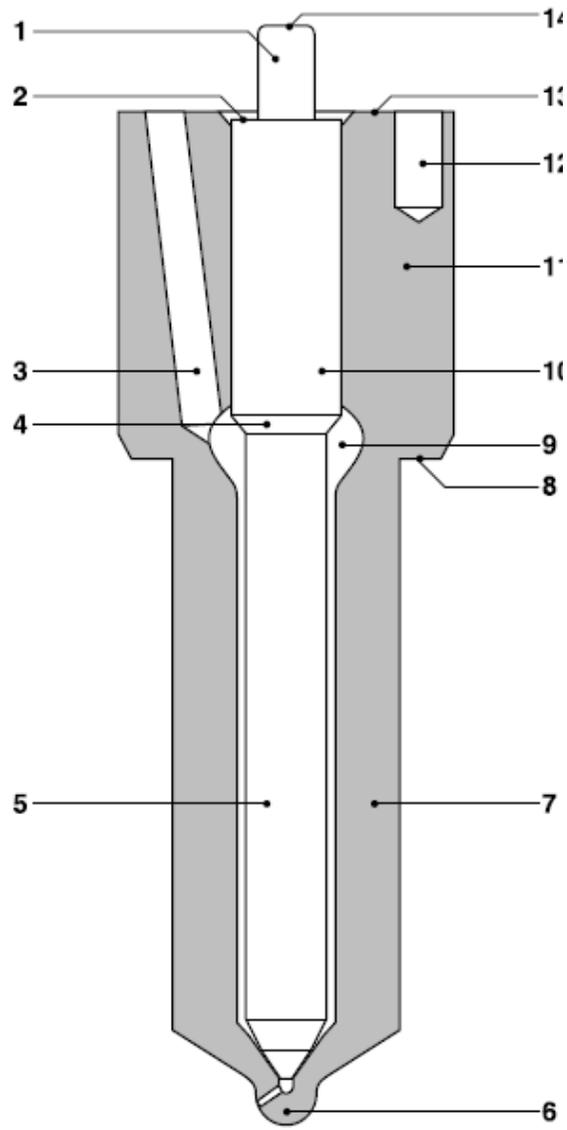
il diametro della guida

l'alzata dell'otturatore

la capacità degli spazi in cui è contenuto il combustibile

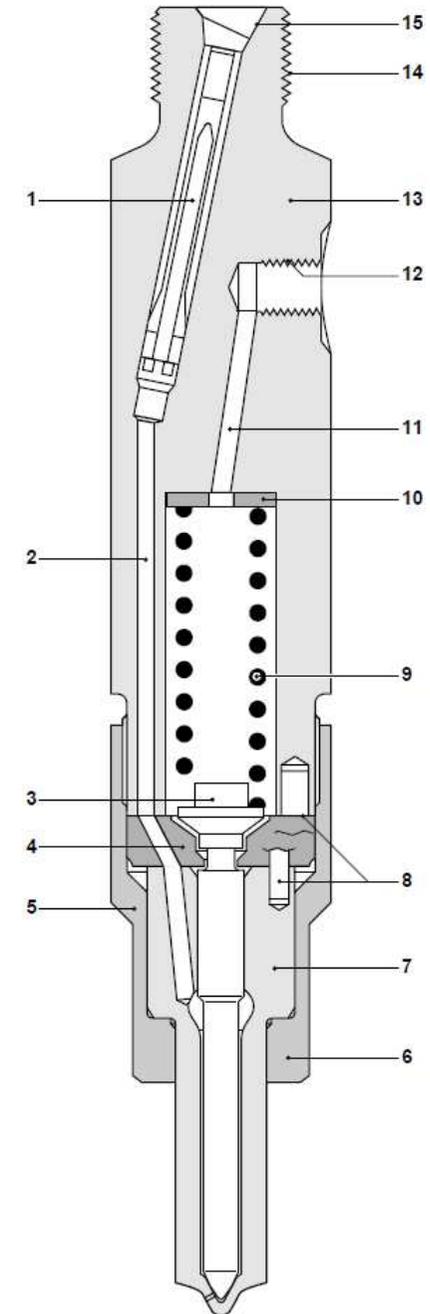


Motori a combustione interna



Standard nozzle holder

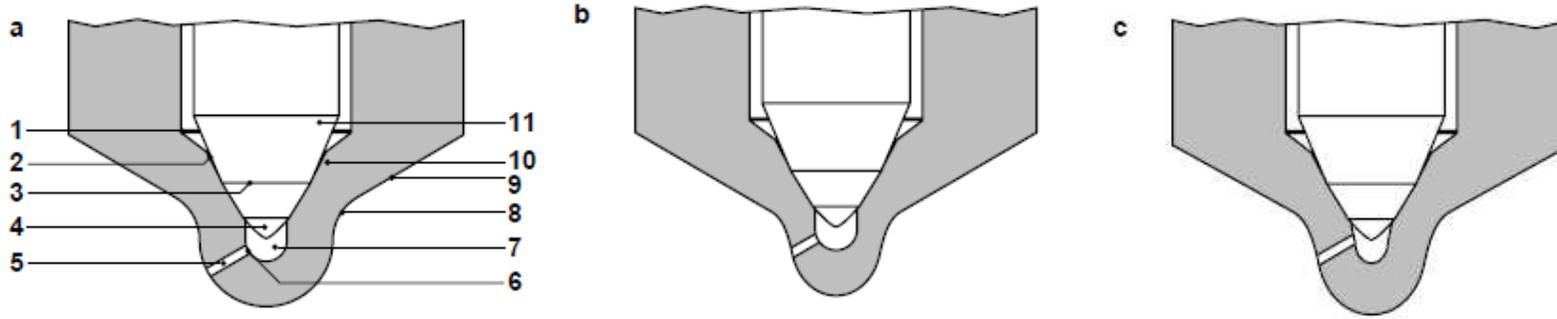
- 1 Edge-type filter, 2 Inlet passage,
 3 Pressure pin, 4 Intermediate element,
 5 Nozzle-retaining nut, 6 Wall thickness,
 7 Nozzle, 8 Locating pins, 9 Spring,
 10 Shim, 11 Leak-fuel passage,
 12 Leak-fuel connection thread,
 13 Nozzle-holder body, 14 Connection thread,
 15 Sealing cone.



Motori a combustione interna

Sac-hole shapes

- a Cylindrical sac hole with round tip,
 - b Cylindrical sac hole with conical tip,
 - c Conical sac hole with conical tip.
- 1 Shoulder, 2 Seat entrance, 3 Needle seat,
4 Needle tip, 5 Injection orifice,
6 Injection-orifice entrance, 7 Sac hole,
8 Throat radius, 9 Nozzle-tip cone,
10 Nozzle-body seat, 11 Damping cone.

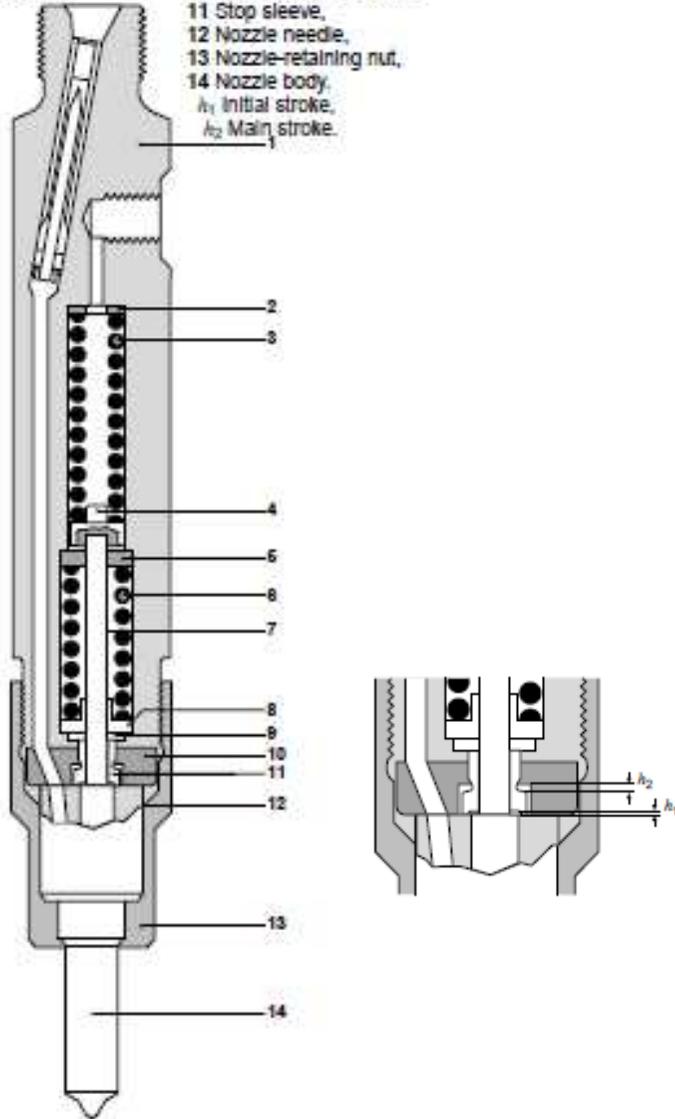


Motori a combustione interna

Two-spring nozzle holder for direct-injection (DI) engines

- 1 Nozzle-holder body, 2 Shim,
- 3 Spring 1, 4 Pressure pin,
- 5 Guide element, 6 Spring 2,
- 7 Pressure pin, 8 Spring seat,
- 9 Shim,

- 10 Intermediate element,
- 11 Stop sleeve,
- 12 Nozzle needle,
- 13 Nozzle-retaining nut,
- 14 Nozzle body,
- h_1 Initial stroke,
- h_2 Main stroke.

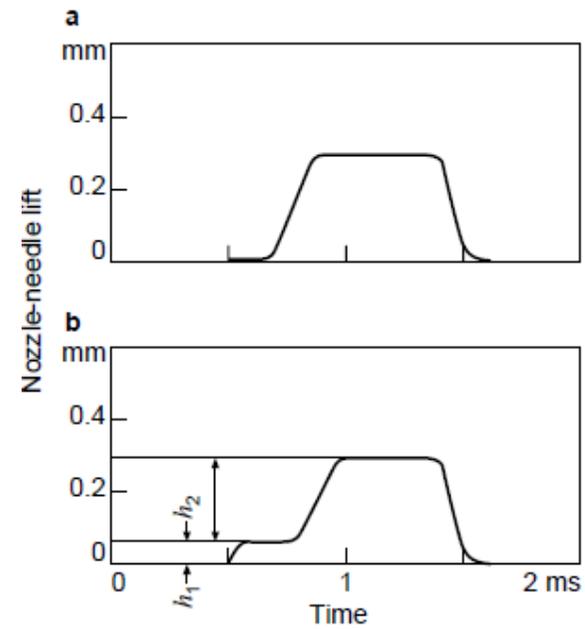


Comparison of needle-lift curves

a Standard nozzle holder (single-spring nozzle holder),

b Two-spring nozzle holder.

h_1 Initial stroke, h_2 Main stroke.



Motori a combustione interna

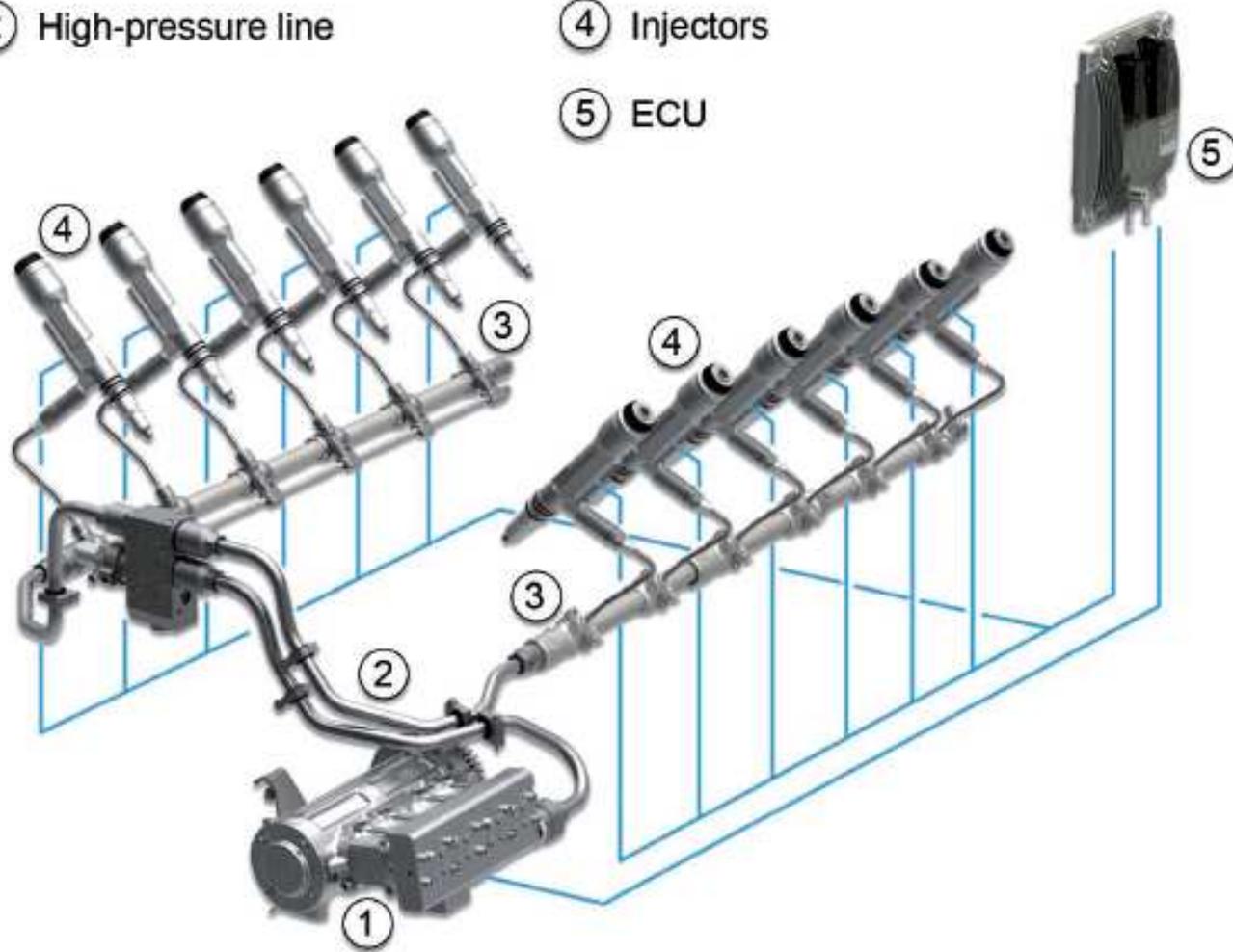
① High-pressure pump

② High-pressure line

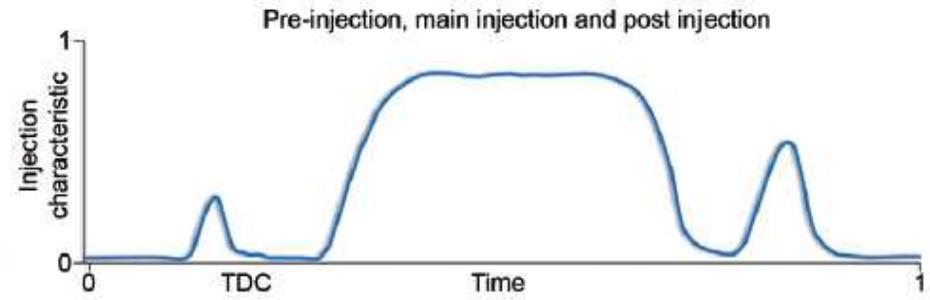
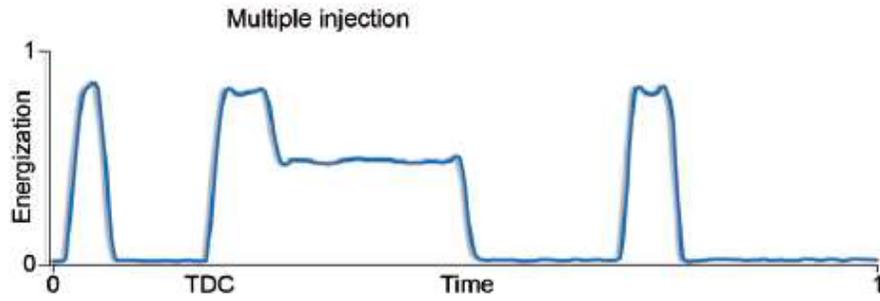
③ Rail system

④ Injectors

⑤ ECU



Motori a combustione interna



Motori a combustione interna

① Accumulator

② Filter

③ Limiting valve

④ Actuator solenoid

⑤ Pilot valve

⑥ Control holes

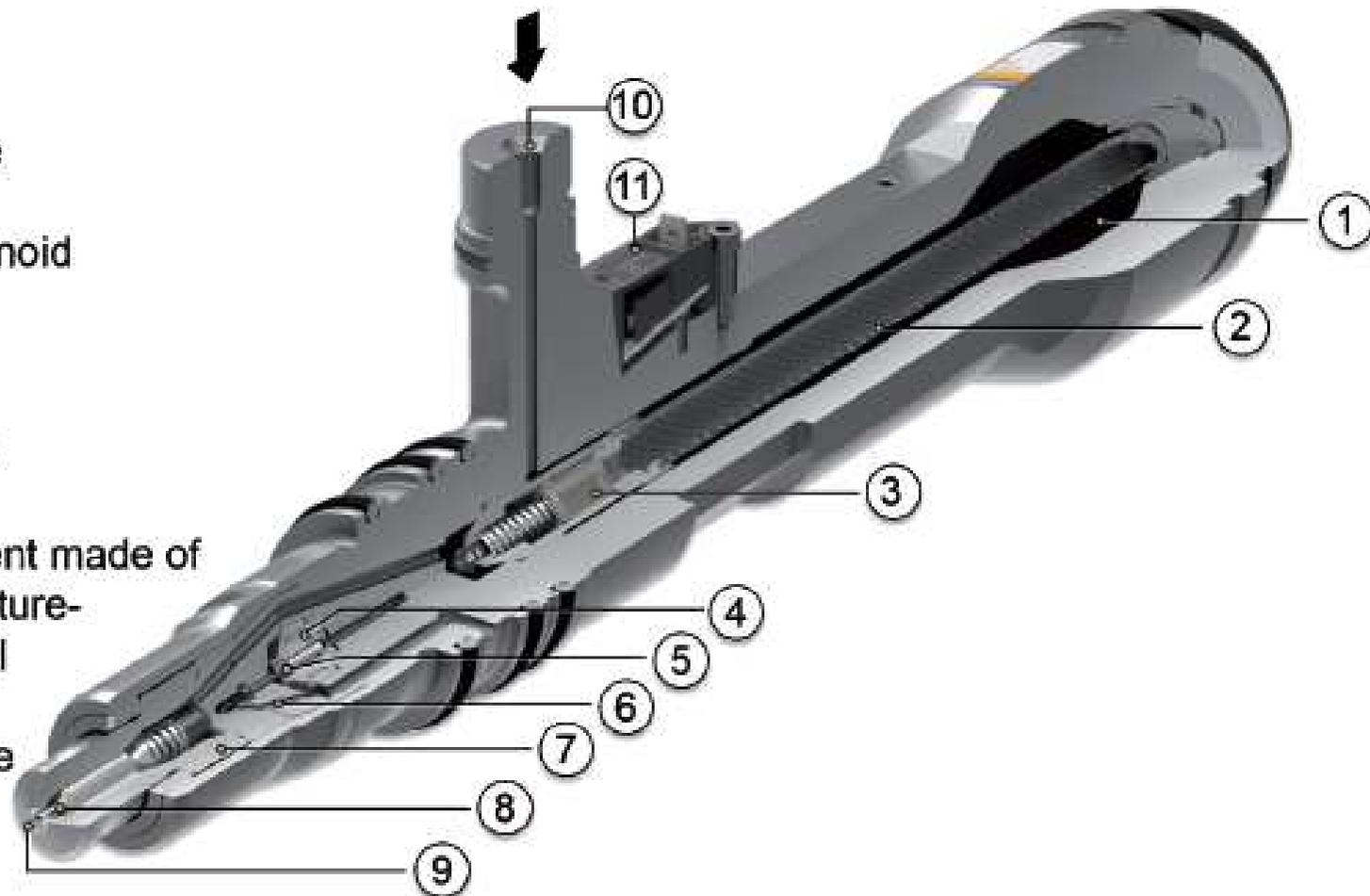
⑦ Nozzle element made of high-temperature-resistant steel

⑧ Nozzle needle

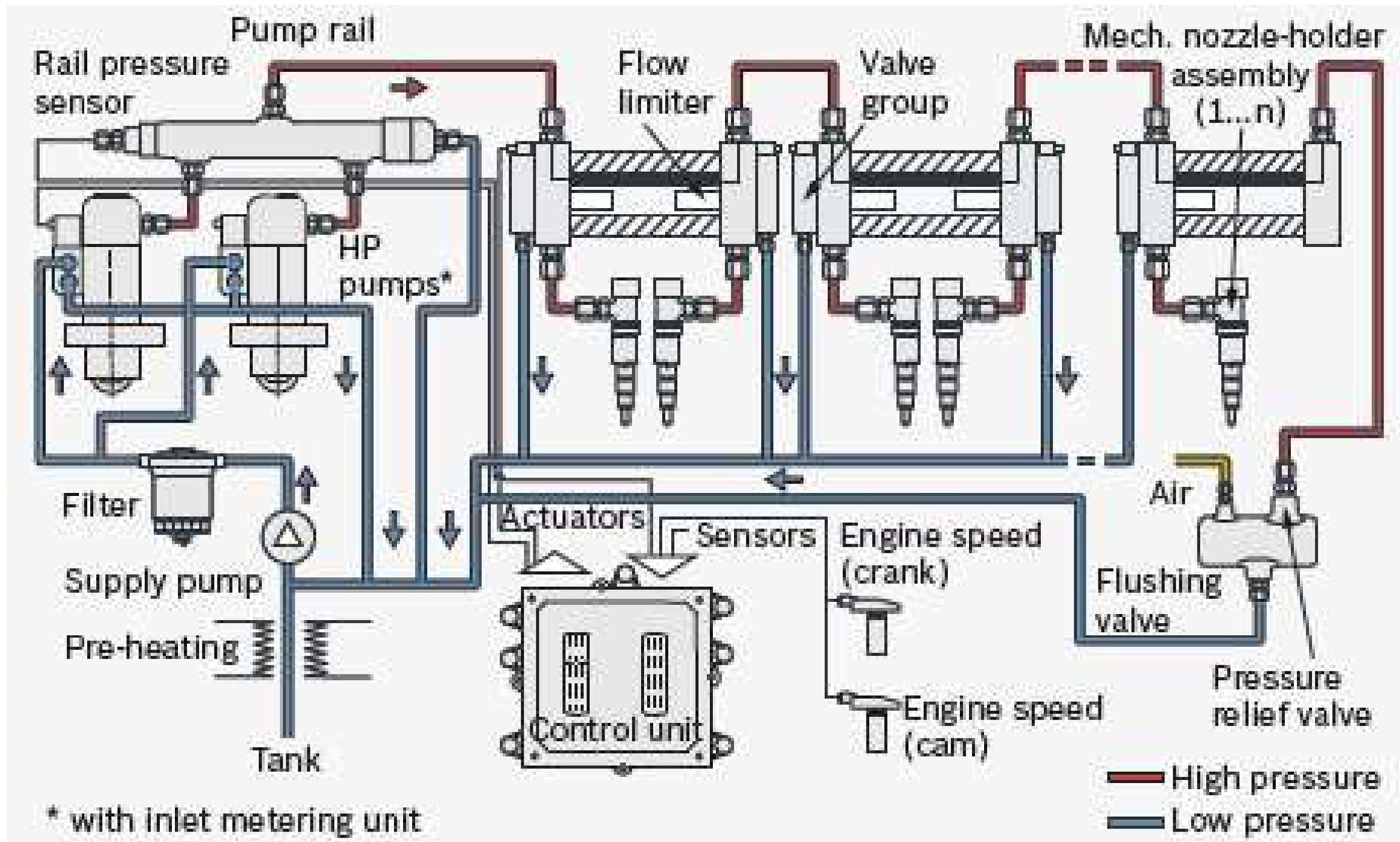
⑨ Nozzle

⑩ High-pressure connection

⑪ Electrical connection



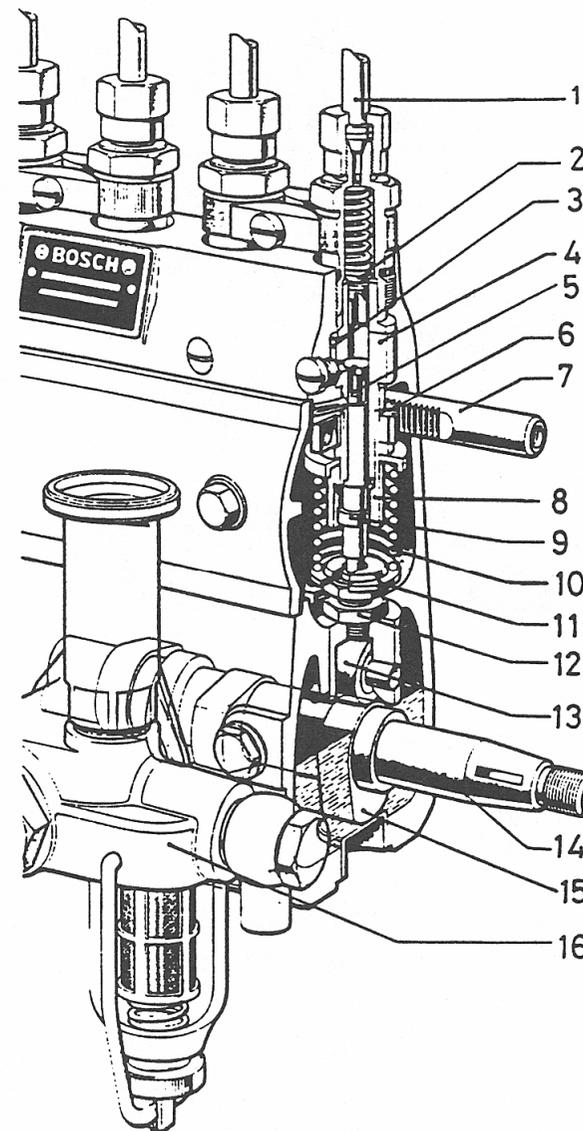
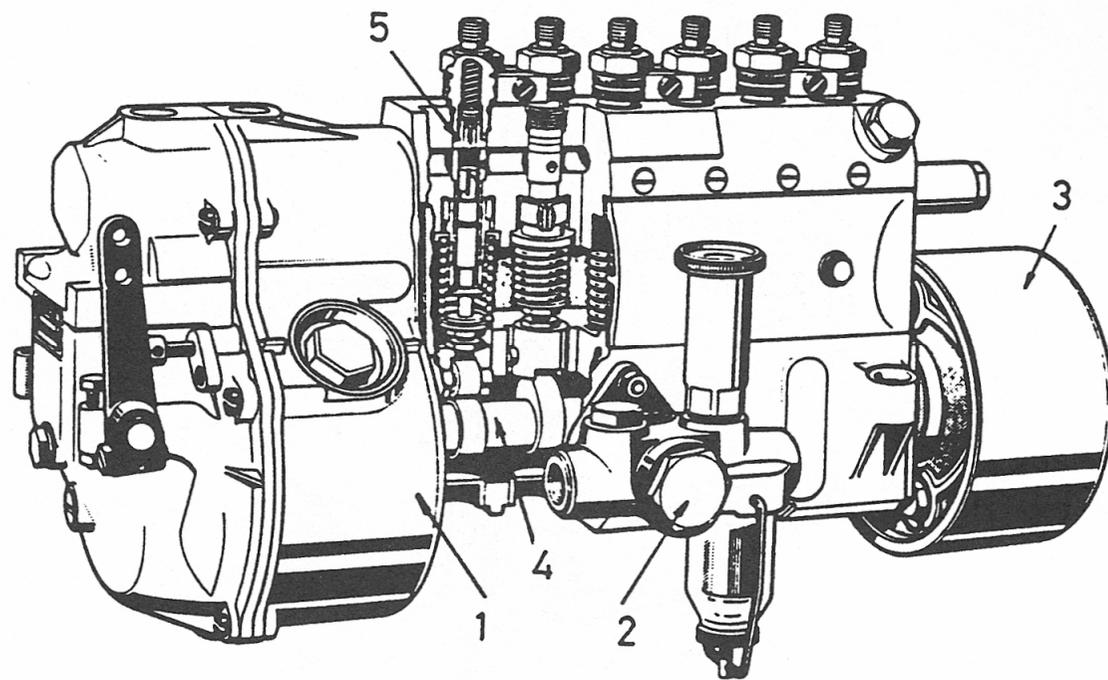
Motori a combustione interna



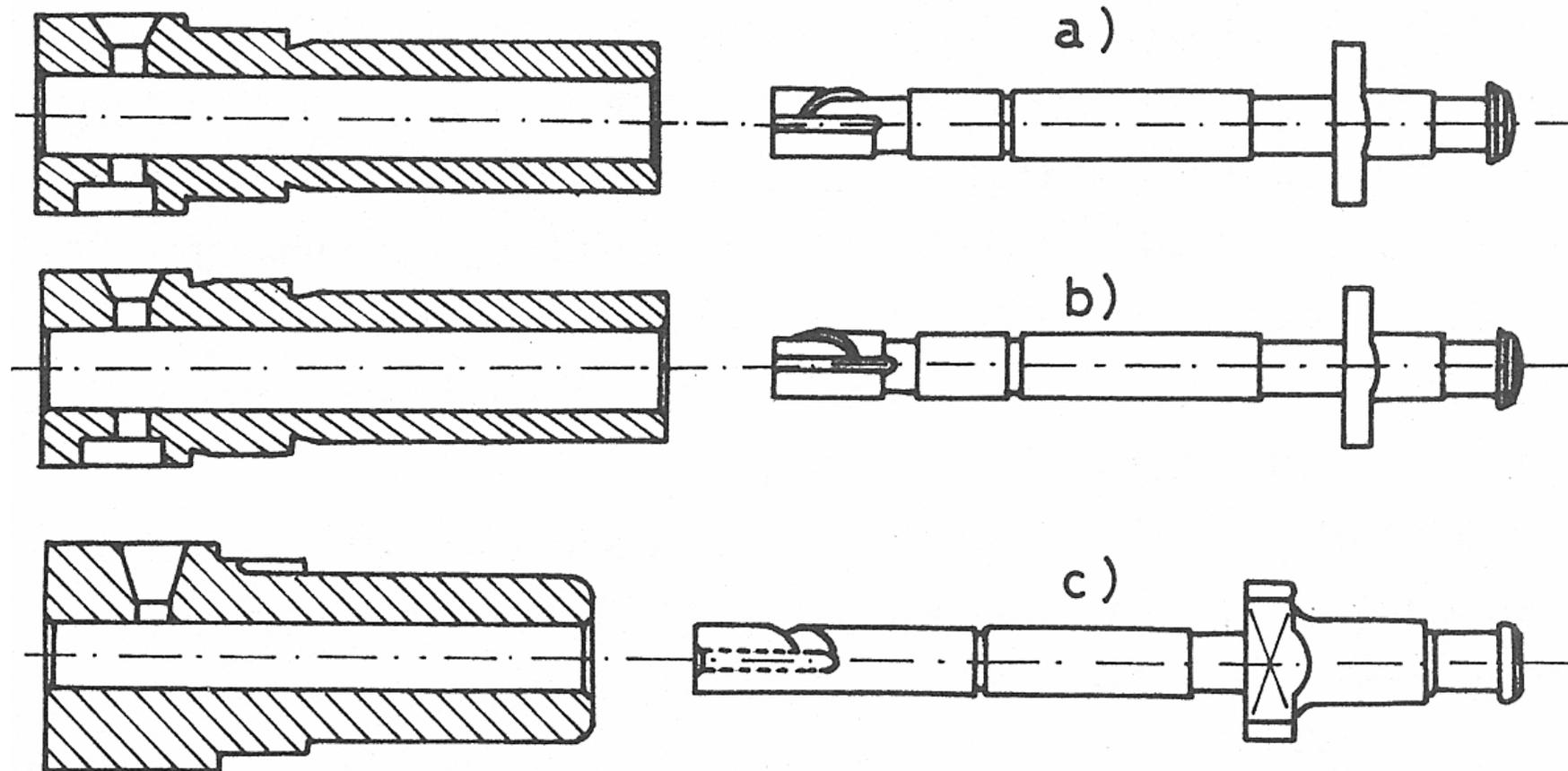
Motori a combustione interna

Iniezione

Pompa in linea



Motori a combustione interna



Motori a combustione interna

