



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

I motori ad accensione spontanea

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Generalità sui motori ad accensione spontanea
- ▶ Il ciclo ideale di riferimento
- ▶ Le fasi del processo di combustione
- ▶ Confronto tra motori a combustione interna a ciclo Otto e a ciclo Diesel



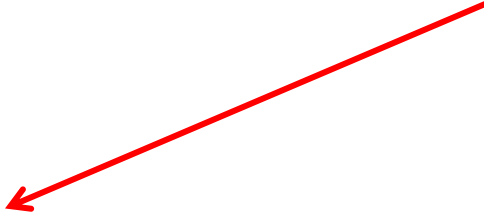
I motori ad accensione spontanea

- I motori ad accensione spontanea aspirano **solo aria**
- L'aria viene compressa fino a temperature dell'ordine di **600-700 °C** così da consentire l'auto-accensione del combustibile
- Il combustibile viene iniettato direttamente nel cilindro e si accende spontaneamente
- I rapporti di compressione sono **maggiori** ($r_v = 14 \div 24$) rispetto a quelli dei motori ad accensione comandata
- L'accensione spontanea consente di utilizzare **combustibili meno pregiati**
- La **regolazione della potenza** avviene agendo sulla quantità di combustibile iniettato e non influenza la capacità di riempimento del cilindro (non c'è la valvola a farfalla)



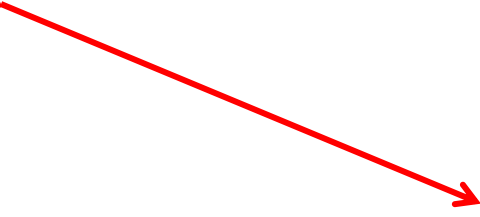
I motori ad accensione spontanea

Si suddividono in due categorie:



LENTI

- combustione a $p \approx cost$ (**ciclo Diesel**)
- $r_v = 14 \div 18$
- $n = 100 \div 1000 \text{ rpm}$
- iniezione pneumatica

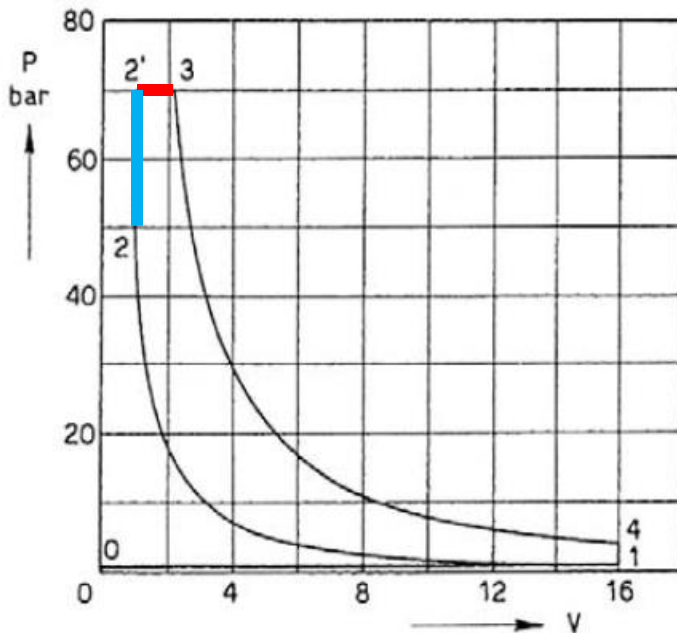


VELOCI

- combustione a $V \approx cost$ e $p \approx cost$ (**ciclo misto Sabathé**)
- $r_v = 14 \div 24$
- n fino a 5000 rpm
- iniezione elettro-meccanica ($100 - 300 \text{ bar}$); negli attuali sistemi di iniezione **common-rail** (fino a $1500 \div 2000 \text{ bar}$)

Il ciclo ideale di riferimento

Ciclo ideale di riferimento



- La combustione si ritiene **esterna al cilindro** e il calore sviluppato trasmesso al fluido ideale (aria) all'interno del cilindro parte a **V costante** e parte a **p costante**, secondo i valori dei parametri:

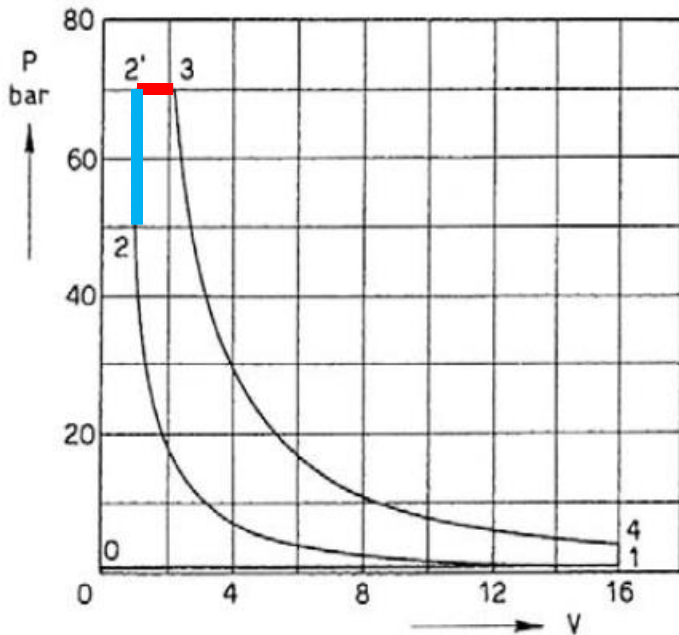
$$\alpha = \frac{p'_2}{p_2} = \frac{p_3}{p_2} \quad \beta = \frac{V_3}{V_2}$$

- Per ragioni strutturali la pressione p'_2 del ciclo deve essere **limitata superiormente**
- Assunti pertanto il rapporto volumetrico di compressione r_v e p_1 , α viene fissato tenuto conto del vincolo:

$$p'_2 = \alpha p_2 = \alpha p_1 r_v^k < p_{max}$$

➡ α

Ciclo ideale di riferimento



- Ne consegue per il rendimento termico del ciclo ideale l'espressione:

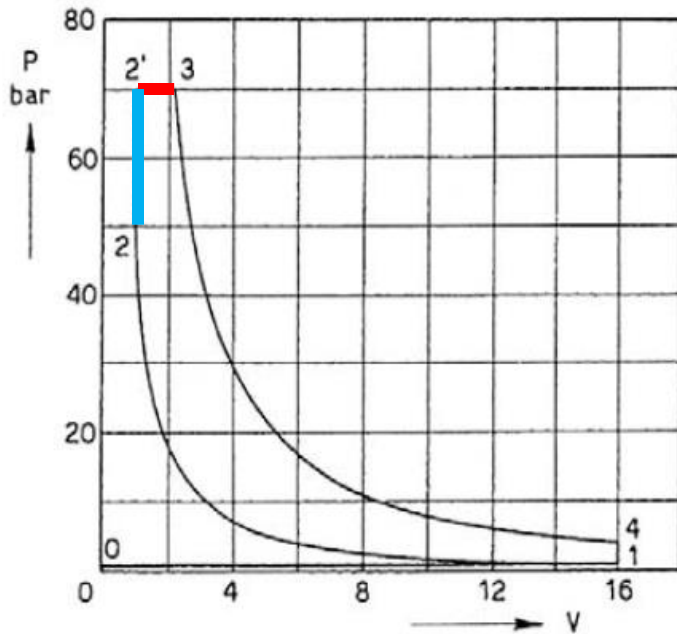
$$\eta_t = \frac{c_v(T'_2 - T_2) + c_p(T_3 - T'_2) - c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T'_2 - T_2) + c_p(T_3 - T'_2)}$$

dalla quale si ottiene:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \frac{\alpha \beta^k - 1}{(\alpha - 1) + \alpha k(\beta - 1)}$$

- Se $\alpha = 1$, si ha un ciclo Diesel vero e proprio ($p'_2 = p_2$)
- Se $\beta = 1$, si ha un ciclo Otto ($V_3 = V_2$)

Ciclo ideale di riferimento



$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \frac{\alpha \beta^k - 1}{(\alpha - 1) + \alpha k (\beta - 1)}$$

- A parità di r_v il rendimento dei Diesel è inferiore a quello dei motori Otto:

$$\eta_{Otto} > \eta_{Sabathé} > \eta_{Diesel}$$

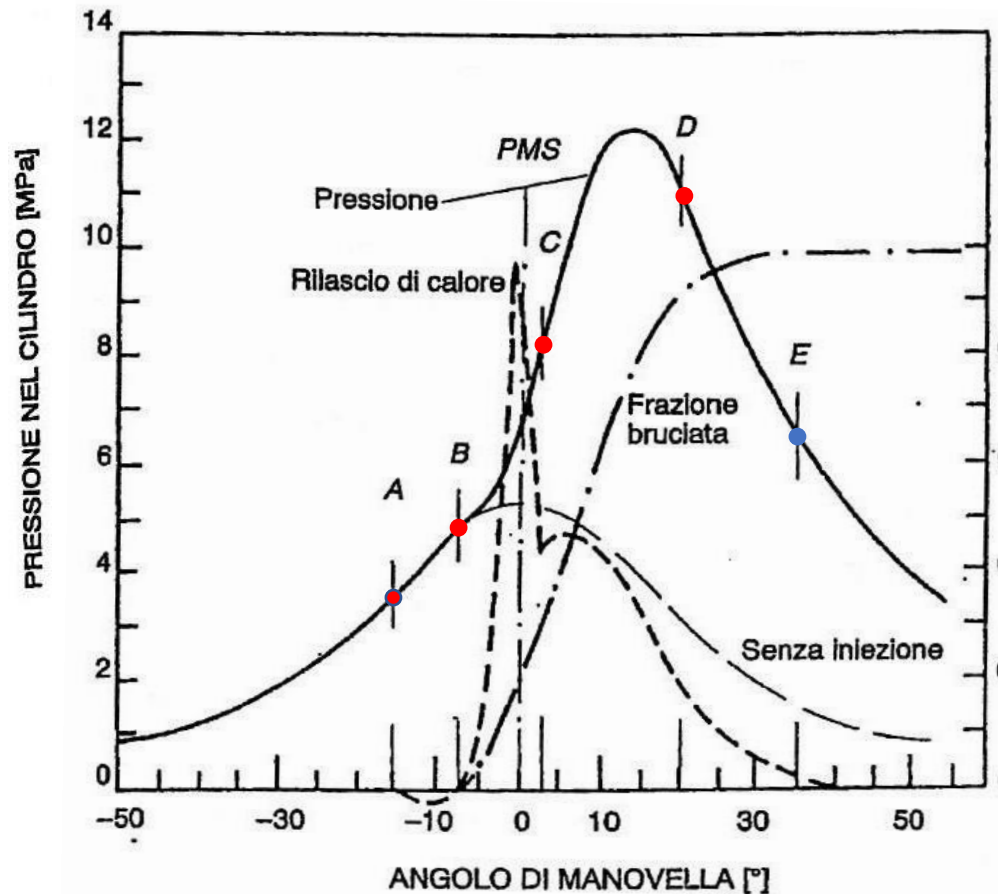
- Nei motori ad accensione spontanea **non** si ha più il problema della detonazione che imponeva un limite ad r_v nei motori ad accensione comandata

⇒ Si possono perciò impiegare per i Diesel r_v fino a 24, cosicché:

$$\eta_{Diesel} > \eta_{Otto}$$

Le fasi del processo di combustione

Le fasi della combustione



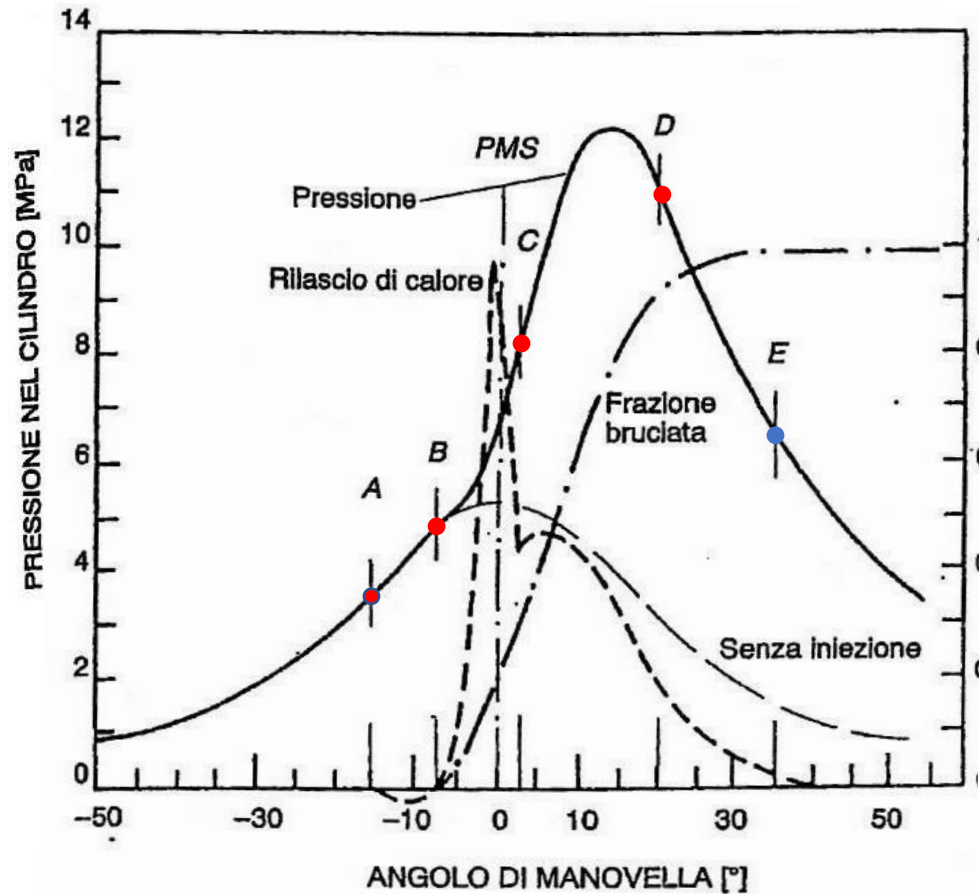
AB :
ritardo all'auto-accensione

BC:
combustione rapida

CD:
combustione controllata

DE:
esaurimento della combustione

Le fasi della combustione



A: inizio dell'iniezione

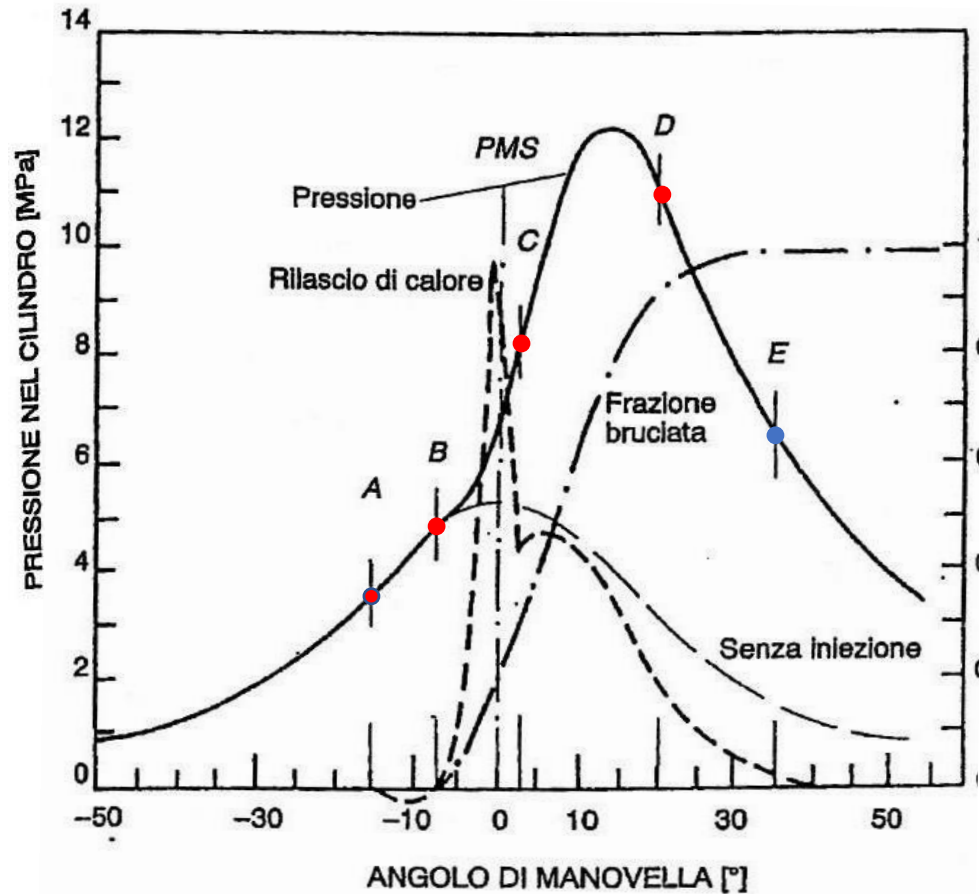
- Il combustibile viene iniettato quando nel cilindro si hanno:

$$p \approx 30 - 40 \text{ bar}$$

$$T \approx 500 - 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- I valori di p e T sono **superiori** ai valori di p e T di auto-accensione del combustibile

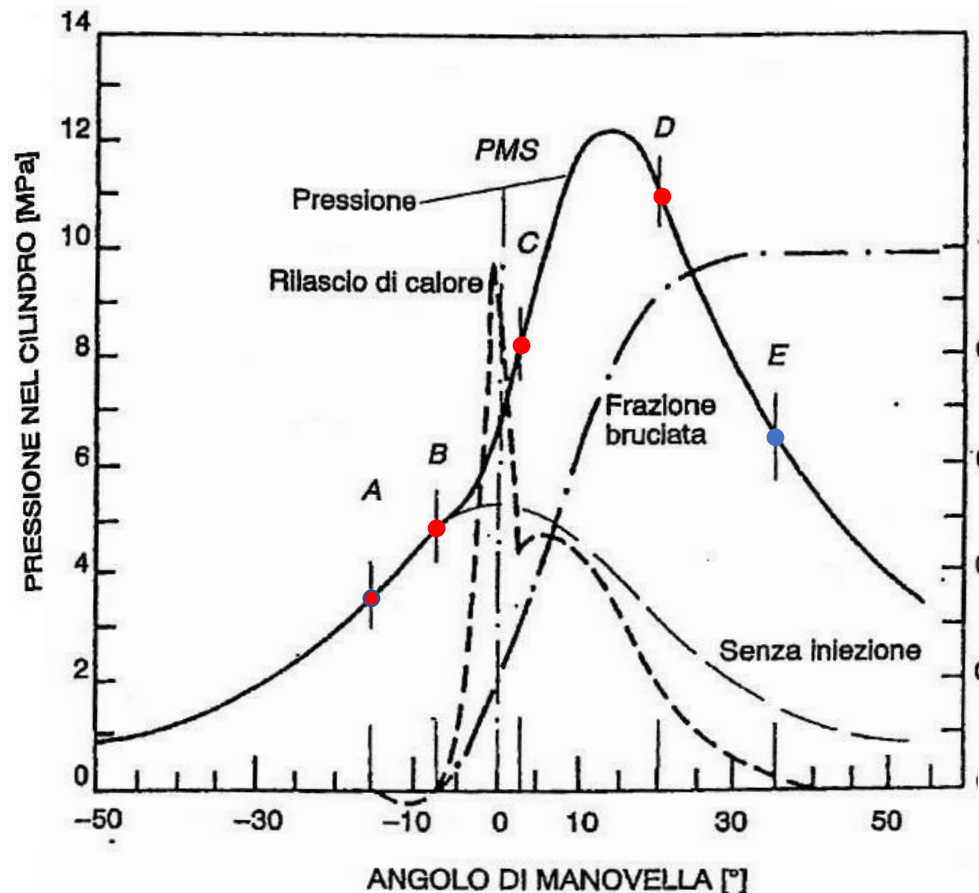
Le fasi della combustione



AB: ritardo all'auto-accensione

- Nonostante i valori di p e T , il combustibile iniettato non si accende subito
- Il **ritardo all'auto-accensione** è il periodo che intercorre tra l'iniezione del combustibile e la sua accensione
- Durante il periodo di ritardo l'andamento delle pressioni è quello che si avrebbe in assenza di iniezione

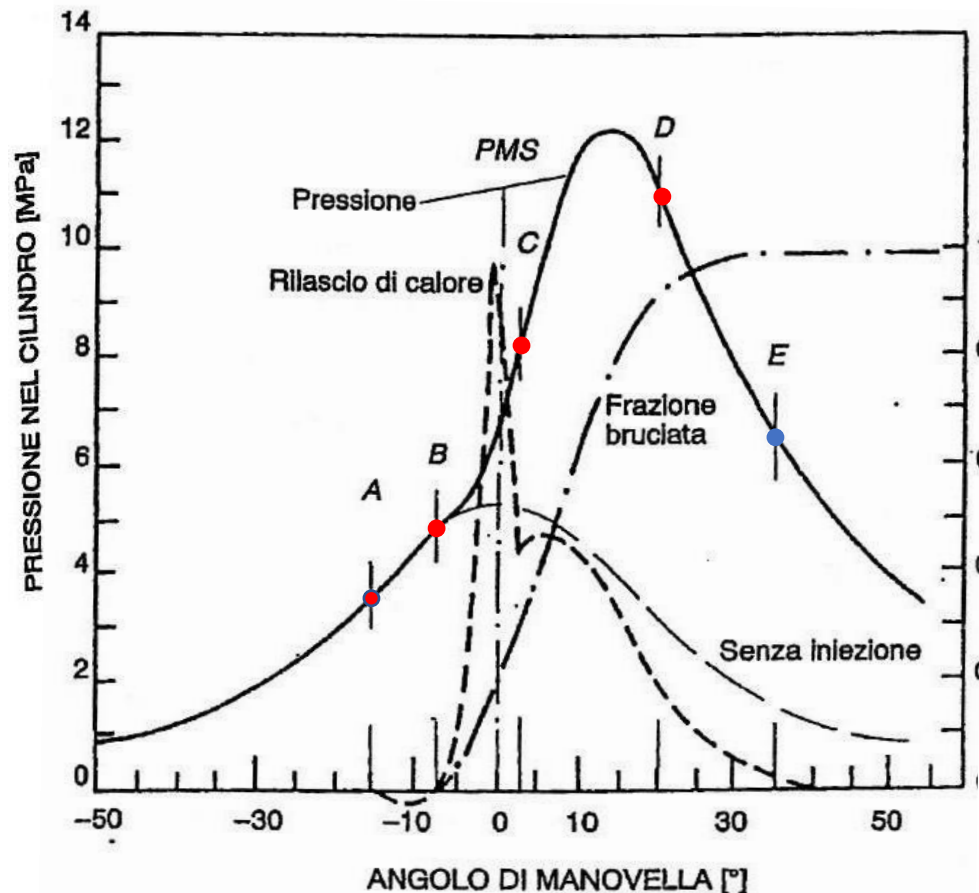
Le fasi della combustione



BC: combustione rapida

- Il combustibile si accende e si ha un incremento di p molto rapido
- In questa fase viene bruciata in modo quasi istantaneo tutta la quantità di combustibile che si era pre-miscelata durante la fase di ritardo secondo rapporti di dosatura adeguati

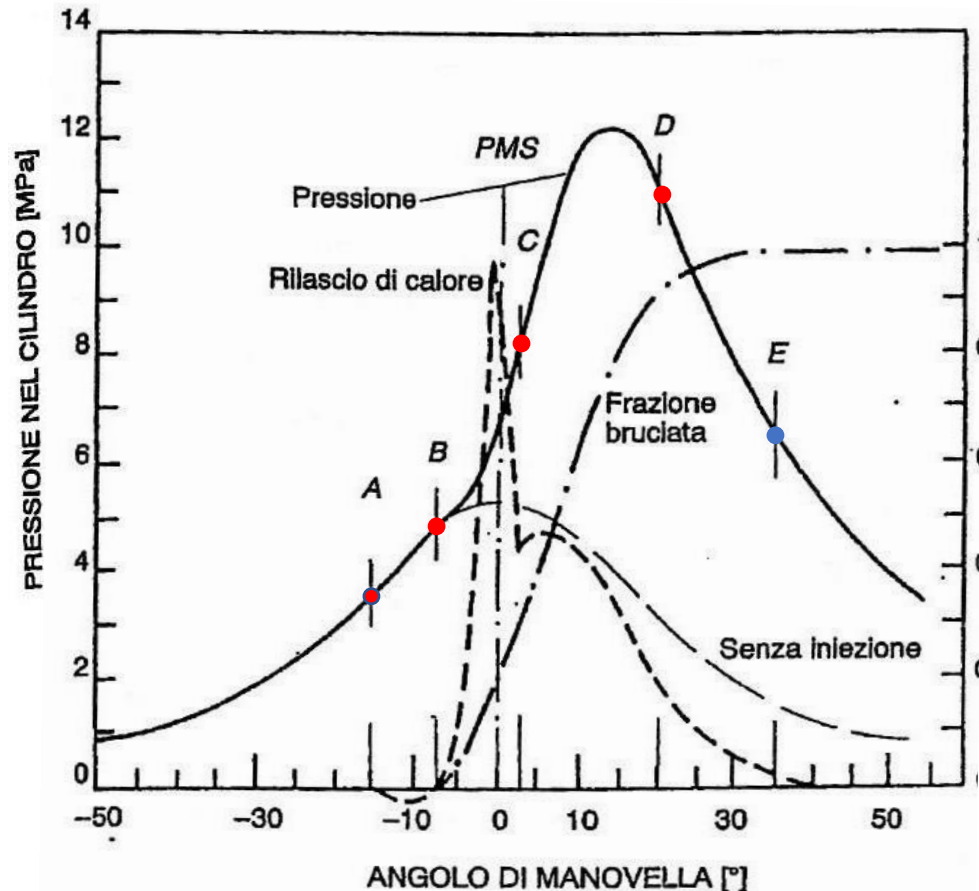
Le fasi della combustione



CD: combustione regolata

- In questa fase viene **progressivamente** bruciato il combustibile iniettato nel cilindro
- La combustione è regolata da **processi di diffusione**
- L'andamento della pressione $p(\vartheta)$ viene **regolato** con l'iniezione di combustibile

Le fasi della combustione



DE: completamento della combustione

- In **D** termina l'iniezione di combustibile
- Durante questa fase si **conclude** il processo di combustione e viene bruciato il combustibile ancora presente nel cilindro

Confronto Diesel vs. Otto

Otto vs. Diesel

$$P_e = \lambda_v \rho_a \frac{V_t}{\Delta} \frac{n}{60} \frac{2}{\tau} H_u \eta_i \eta_m$$

Diagram illustrating the relationship between Otto and Diesel engine parameters:

- $(\lambda_v)_D \approx (\lambda_v)_O$ (points to λ_v)
- $n_D < n_O$ (points to n)
- $(\eta_i)_D > (\eta_i)_O$ (points to η_i)
- $(\eta_m)_D \approx (\eta_m)_O$ (points to η_m)
- $(\Delta)_D > (\Delta)_O \approx \Delta_{st}$ (points to Δ)
- $(Hu)_D \approx (Hu)_O$ anche se $(Hu)_D < (Hu)_O$ (points to H_u)

- I vantaggi di rendimento dei Diesel bilanciano all'incirca il minor numero di giri che li caratterizza
- Il fattore discriminante è dato dal rapporto di dosatura che nei Diesel può essere anche molto alto. Nei motori attuali è dell'ordine di **22-23**
- A parità di potenza, i Diesel sono caratterizzati da una cilindrata maggiore

Otto vs. Diesel

$$P_e = \lambda_v \rho_a \frac{V_t}{\Delta} \frac{n}{60} \frac{2}{\tau} H_u \eta_i \eta_m$$

$(\lambda_v)_D \approx (\lambda_v)_O$
 $n_D < n_O$
 $(\eta_i)_D > (\eta_i)_O$
 $(\eta_m)_D \approx (\eta_m)_O$
 $(\Delta)_D > (\Delta)_O \approx \Delta_{st}$
 $(Hu)_D \approx (Hu)_O$
 anche se
 $(Hu)_D < (Hu)_O$

SISTEMA DI REGOLAZIONE

Otto: si regola la portata con l'apertura della valvola a farfalla

Diesel: si fa variare la quantità di combustibile iniettato → sistema più efficiente ai carichi parziali.

COPPIA MOTRICE

A parità di P_e , la coppia dipende dalla cilindrata V_t che nei Diesel è maggiore → $M_D > M_O$.



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

