



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

I motori ad accensione comandata

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Il Ciclo ideale Beau de Rochas - Otto
 - ▶ Ipotesi
 - ▶ Evoluzione del ciclo
 - ▶ Rendimento del ciclo ideale
 - ▶ Definizione della Potenza e sua regolazione
 - ▶ La pressione media
 - ▶ Le prestazioni
- ▶ La detonazione



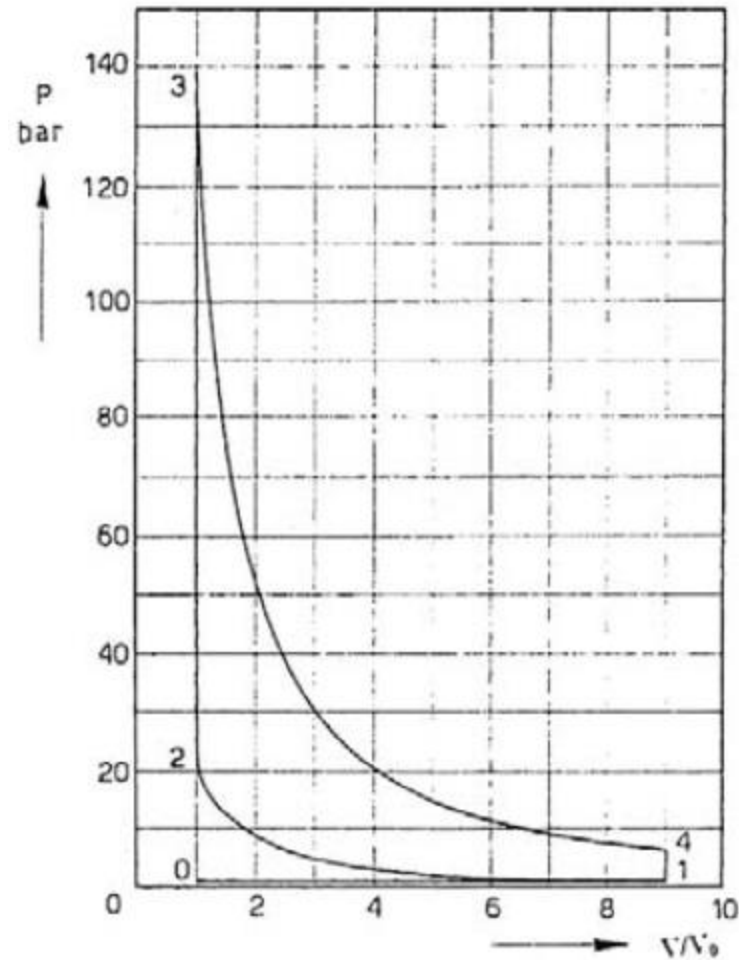
Agenda

- ▶ Ciclo indicato
 - ▶ Ipotesi
 - ▶ La combustione
 - ▶ Il lavoro di pompaggio
 - ▶ Il coefficiente di riempimento
 - ▶ Il rendimento volumetrico
 - ▶ Il rendimento del ciclo indicato
- ▶ Curve caratteristiche – note integrative
- ▶ La combustione nel ciclo indicato – note integrative
- ▶ La regolazione – note integrative



La detonazione

La detonazione

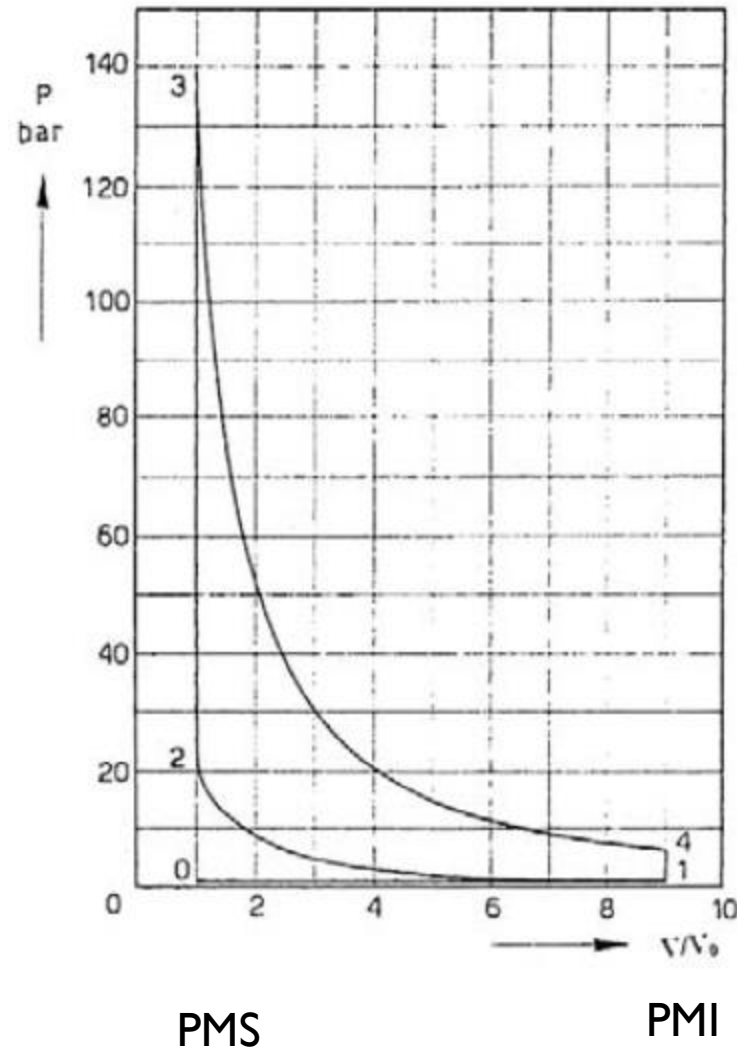


PMS

PMI

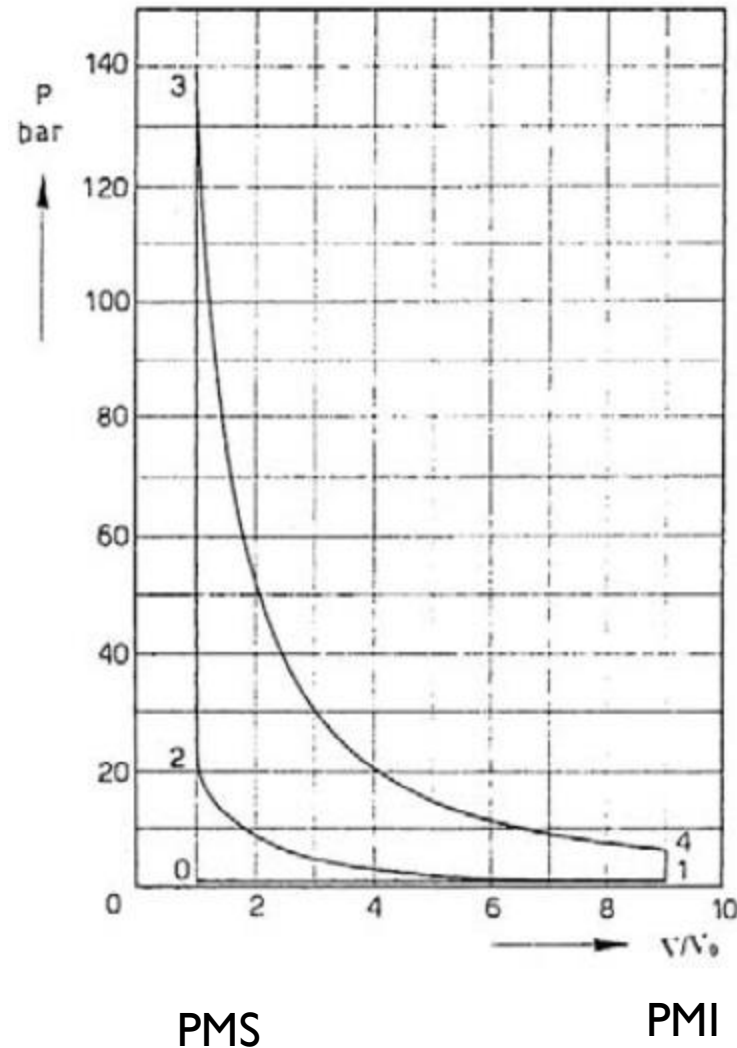
- La **detonazione** è un fenomeno tipico dei motori ad accensione comandata
- Solitamente il processo di combustione nei motori ad accensione comandata prevede le seguenti fasi:
 - scocca la scintilla
 - la miscela aria-combustibile comincia a bruciare
 - la fiamma si propaga con una certa velocità
 - l'energia viene liberata in modo uniforme
 - la miscela che non è ancora bruciata subisce un aumento di p e T

La detonazione



- La detonazione si sviluppa quando la miscela aria-combustibile raggiunge valori di p e T tali da **auto-accendersi**
- Raggiunti questi valori, dopo un certo **ritardo**, la miscela si **auto-accende** quasi istantaneamente con aumenti significativi della pressione (anche > 200 bar)
- Si generano **onde** che si riflettono sulle pareti della camera di combustione (**battito di testa**)
- Al raggiungimento delle condizioni di auto-accensione, **per evitare la detonazione**, il fronte di fiamma deve bruciare tutta la miscela durante il ritardo all'auto-accensione

Prestazioni di un motore - Ciclo ideale



$$p_m = \frac{p_1}{RT_1} \frac{H_u(\eta_t)_{id}}{\Delta}$$

- La p_m è influenzata anche da:
 - T_1 : in inverno si rischiano T_1 troppo basse che possono creare problemi
 - Δ : ci sono dei limiti legati al processo di combustione ($\Delta = 10 \div 22$)
 - p_1 : sovralimentazione
- L'aumento della p_1 comporta un aumento della p_3 ma meno significativo rispetto all'aumento del r_v
- Un aumento del 18% di p_1 comporta +18% di p_3 , contro l'84% provocato da un analogo incremento di r_v



Il Ciclo indicato

Il ciclo indicato

Nella realtà:

- la **miscela** aria-combustibile **non** è **perfetta**
- la fase di **combustione non** avviene **istantaneamente** a volume costante ma richiede un certo intervallo di tempo che dipende dalle caratteristiche della fiamma
- le fasi di **compressione ed espansione non** sono **adiabatiche ed isoentropiche**
- durante la fase di aspirazione e scarico il fluido **non** è in perfetto **equilibrio termodinamico** con l'ambiente esterno

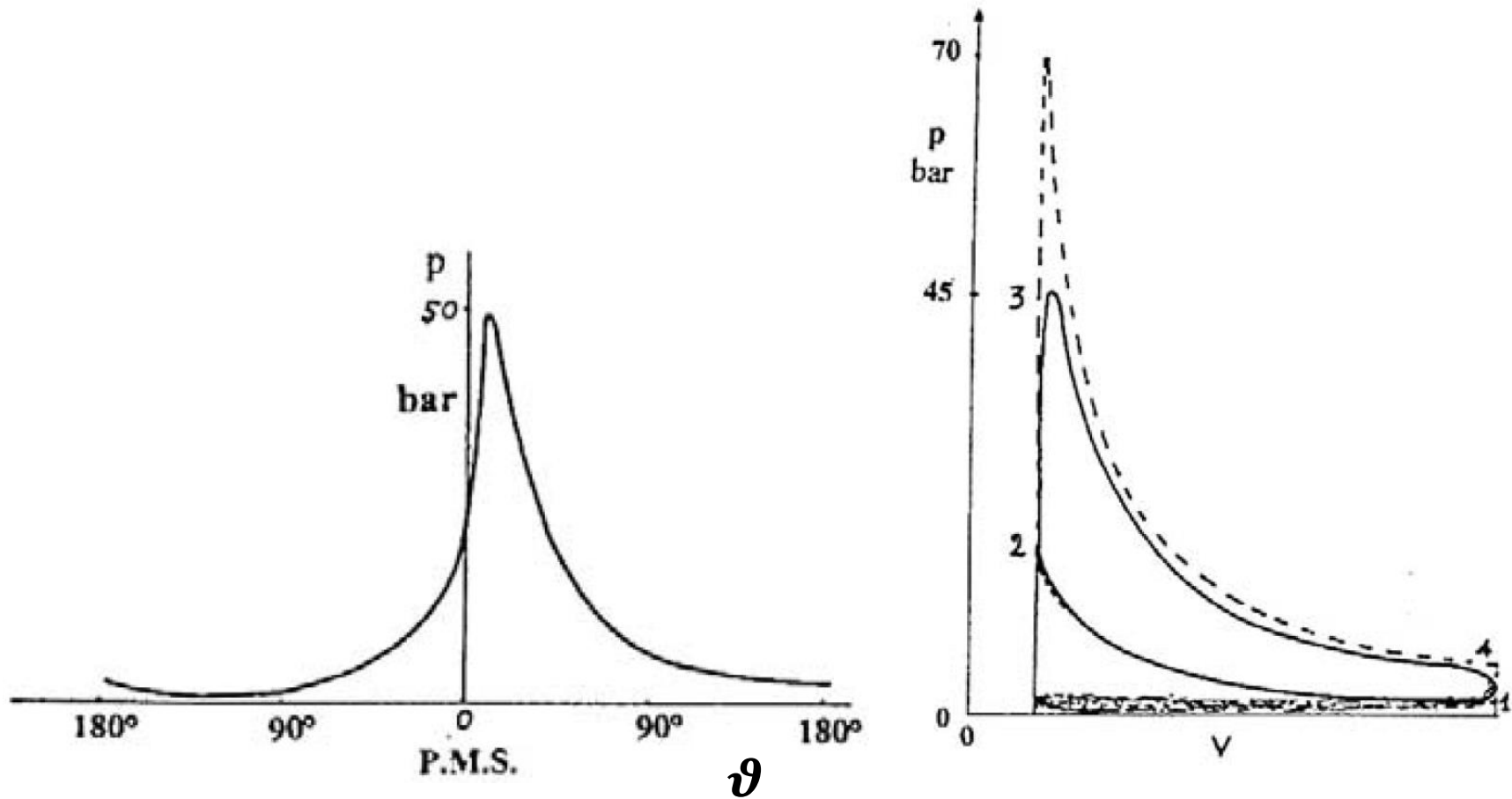


Per valutare il ciclo reale l'unico modo è rilevare per via sperimentale l'andamento della pressione durante le varie fasi di funzionamento



ciclo INDICATO

Diagramma e ciclo indicato



La combustione

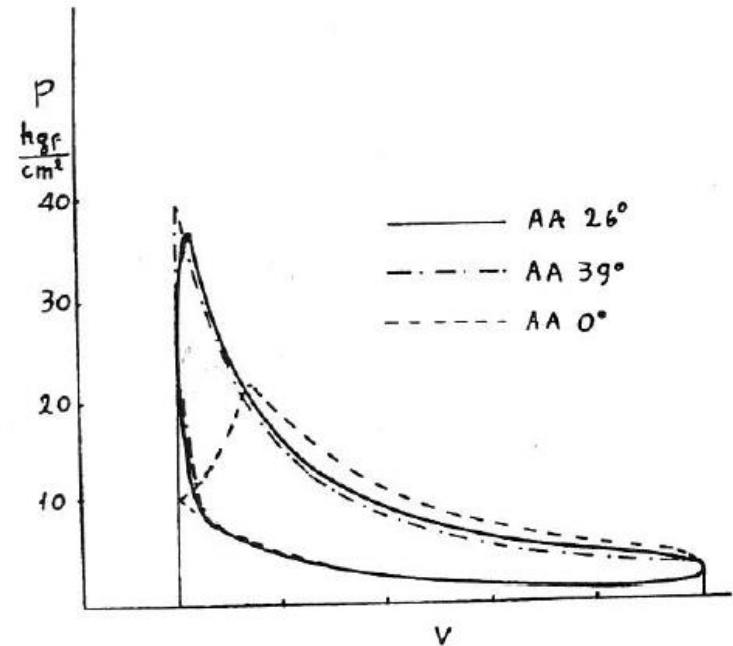
- La **combustione** si sviluppa in un certo intervallo di tempo a cui corrisponde un tempo di manovella generalmente compreso tra i **38° e i 44°**
- La fiamma innescata dallo scoccare della scintilla si propaga con una certa **velocità**, intorno ai **40-45 m/s**
- Se la **scintilla** fosse fatta scoccare al punto morto superiore (**PMS**), tutta la combustione si svolgerebbe durante la **corsa di espansione** con una notevole perdita di **area utile** del ciclo perché l'aumento del volume all'interno del cilindro attenua sensibilmente l'aumento di pressione conseguente al processo di combustione.



E' necessario far scoccare la scintilla **prima** che il pistone abbia raggiunto il **PMS** per massimizzare l'area utile del ciclo

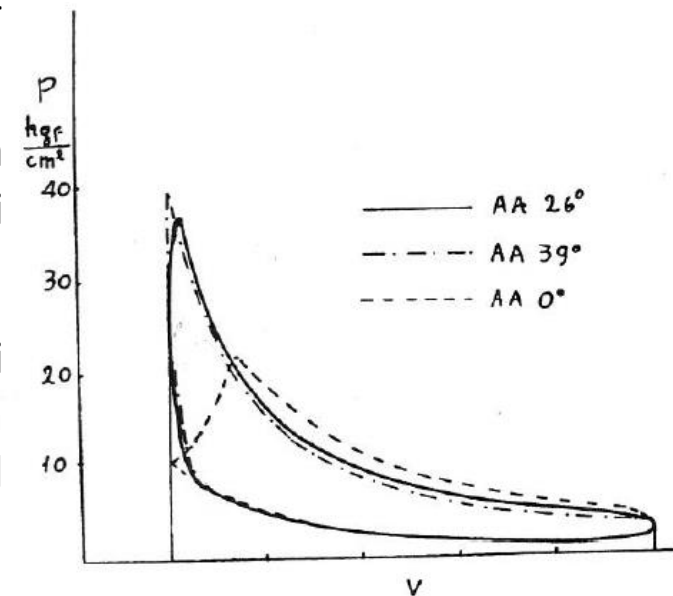


ANTICIPO dell'ACCENSIONE!



La combustione

- Si deve **anticipare** lo scoccare della **scintilla** (accensione) rispetto al **PMS** di un angolo tale da far avvenire la combustione **parte** durante la compressione e **parte** durante l'espansione (caso con **AA** - Anticipo Accensione - pari a **39°** in figura)
- Se si **anticipa troppo** rispetto al valore ottimale si rischia di aumentare troppo la p_{max} del ciclo: rischio di **detonazione**
- L'**anticipo ottimale** è ovviamente quello che consente di ricavare il maggior lavoro utile per ciclo, e si determina empiricamente, per ogni condizione di esercizio del motore, tramite sperimentazione al **banco prova**
- Tanto più lento è il motore, tanto maggiore dovrà essere l'anticipo per ripartire la durata del processo di combustione nell'intorno del **PMS**



Il lavoro di pompaggio

Nei cicli ideale e limite si ipotizzava un **perfetto equilibrio** tra il fluido operativo e l'ambiente esterno nelle fasi di aspirazione e scarico:

$$p_i = p_s = p_{atm}$$

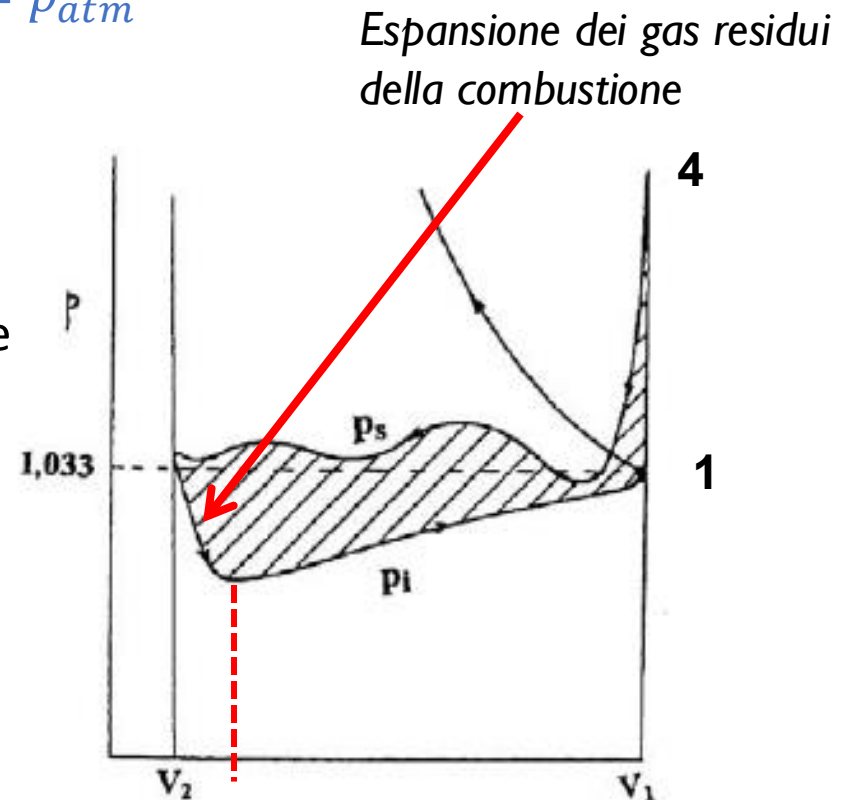


In realtà non si ha un adeguamento istantaneo per effetto dell'azione del pistone sui gas residui

$$p_s > p_{atm}$$

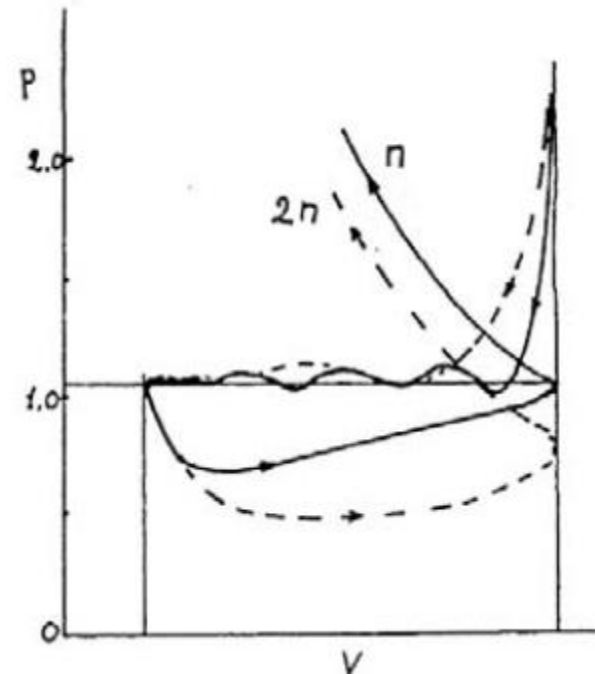
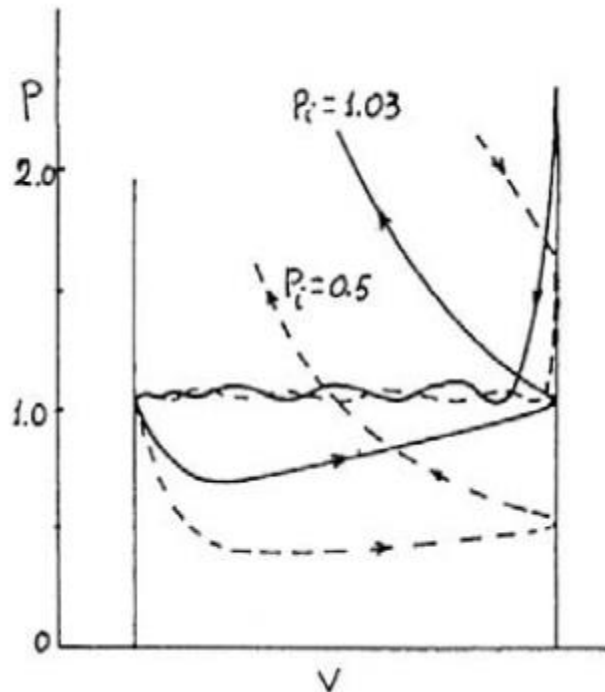
$$p_i < p_{atm}$$

Il lavoro durante l'aspirazione e lo scarico è detto "**lavoro di pompaggio**"



Il lavoro di pompaggio

- Il **lavoro di pompaggio** va a sottrarsi al lavoro utile del ciclo e rappresenta quindi una **perdita**
- Il lavoro di pompaggio **aumenta** al diminuire della pressione di aspirazione (**parzializzazione** della valvola a farfalla per regolazione della potenza)
...e all'aumentare del **regime di rotazione**



Coefficiente di riempimento

- A causa della minore pressione di aspirazione p_i e della maggiore temperatura T_i all'interno del cilindro per il calore sottratto alle pareti del cilindro, si ha che:

$$\rho_i = \frac{p_i}{R T_i} < \rho_{amb}$$

- La portata di massa Q_{m_a} che effettivamente entra nel cilindro è quindi inferiore a quella teorica $Q_{m_{a_t}}$:

$$Q_{m_a} < Q_{m_{a_t}} = \rho_{amb} V_g Z \frac{n}{60} \frac{2}{\tau}$$

- Si definisce **coefficiente** di riempimento λ_v il, rapporto:

$$\lambda_v = \frac{Q_{m_a}}{Q_{m_{a_t}}}$$

Rendimento volumetrico

$$\rho_i = \frac{p_i}{R T_i} < \rho_{amb}$$

$$\lambda_v = \frac{Q_{m_a}}{Q_{m_{at}}}$$

- Il coefficiente di riempimento λ_v tiene conto del grado di efficienza con cui è avvenuto il **riempimento** del cilindro
- Dipende dagli stessi fattori che influenzano il lavoro di pompaggio e quindi:
 - dalla **pressione di aspirazione**, che diminuisce per effetto della parzializzazione della valvola a farfalla (regolazione della potenza)
 - dal **regime di rotazione**, per effetto dell'aumento delle **perdite** di carico nelle **condotte** di alimentazione e attraverso le **valvole** di aspirazione

Rendimento del ciclo indicato

- Si definisce rendimento **indicato** il rapporto:

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q_{m_c} H_u} = \frac{P_i}{\frac{Q_{m_a}}{\Delta} H_u}$$

- La potenza effettiva P_e all'albero è legata al rendimento **meccanico**, così definito in queste note:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = 1 - \frac{P_{aus} + P_p + P_m}{P_i}$$

dove:

- P_{aus} è la potenza richiesta dagli **ausiliari** (ventilatori, pompe di circolazione, ecc..)
- P_p è il lavoro di **pompaggio**
- P_m sono le **perdite meccaniche**
- Per misurare le perdite complessive $P_p + P_m$ si porta il motore al regime di rotazione n , lo si spegne e si misura la potenza P che deve essere fornita da un motore elettrico per mantenere $n = cost$



Rendimento del ciclo indicato

- Il rendimento complessivo η del motore è dunque:

$$\eta = \frac{P_e}{Q_{m_c} H_u}$$

- La potenza effettiva P_e si può inoltre esprimere tramite i rendimenti in quest'altra forma:

$$P_e = Q_{m_c} H_u \eta_i \eta_m = \lambda_v \rho_{amb} V_g Z \frac{n}{60} \frac{2}{\tau} \frac{H_u}{\Delta} \eta_i \eta_m$$

- La coppia effettiva M_e all'albero motore è data da:

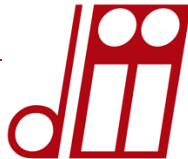
$$M_e = \frac{P_e}{\omega} = \lambda_v \rho_{amb} \frac{V_g Z}{\pi \tau} \frac{H_u}{\Delta} \eta_i \eta_m$$

- Il consumo specifico C_{sc} , posto $\eta = \eta_i \eta_m$, risulta:

$$C_{sc} = \frac{Q_{m_c}}{P_e} = \frac{1}{\eta H_u} \quad [kg/kWs] \qquad C_{sc} = \frac{Q_{m_c(g/h)}}{P_e} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\eta H_u} \quad [g/kWh]$$



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

