



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



Il Ciclo ideale Beau de Rochas - Otto

Il Ciclo ideale: ipotesi

Si comincia ad analizzare le prestazioni di un motore, considerandolo una **macchina ideale**

Ipotesi:

- il fluido operativo è **ideale e perfetto** (aviscoso, calore specifico indipendente dalla T)
- la fase di **combustione** è **esterna** al ciclo: il calore è trasmesso **senza perdite** al fluido attraverso un setto permeabile al calore. La fase di combustione avviene:
 - a volume costante: ciclo Otto
 - a pressione costante: ciclo Diesel
 - parte a volume e parte a pressione costante: ciclo misto
- la fase di compressione ed espansione sono **adiabatiche** ed **isoentropiche**
- durante la fase di aspirazione e scarico il fluido è **in perfetto equilibrio termodinamico** con l'ambiente esterno (pressione e temperatura dell'ambiente esterno)

Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto:

evoluzione

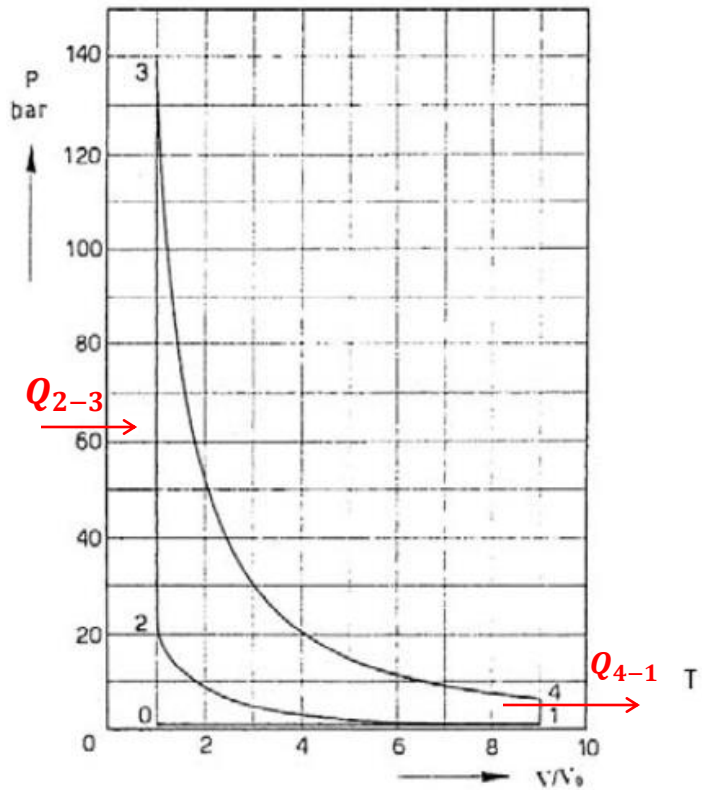


Fig. - Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto in coordinate p-v e T-S.

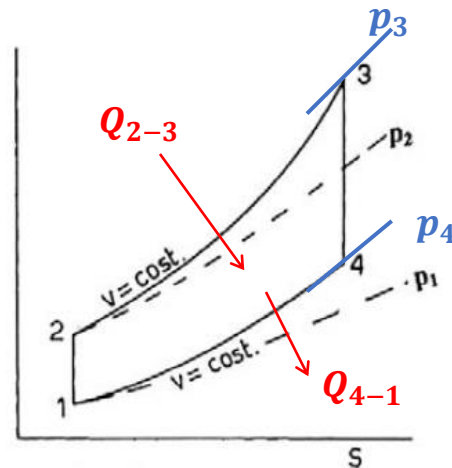
0-1: fase di ASPIRAZIONE (aria)

1-2: fase di COMPRESSIONE

2-3: fase di COMBUSTIONE a V cost

3-4: fase di ESPANSIONE

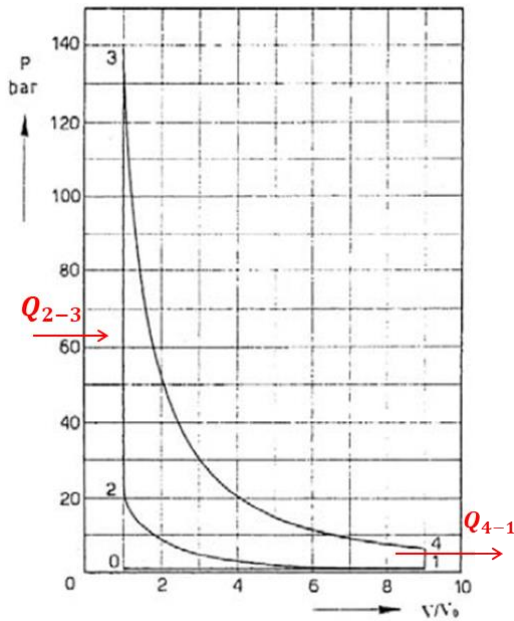
4-0: fase di SCARICO



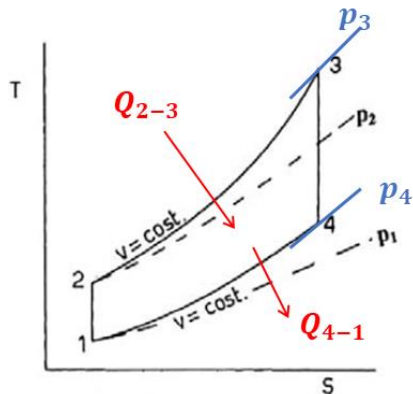
- $p_1 = 1 \text{ bar}$
- $V_0 = \text{volume della camera di combustione}$
- $r_V = \frac{V_1}{V_2} = \text{rapporto volumetrico di compressione}$

Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto:

evoluzione

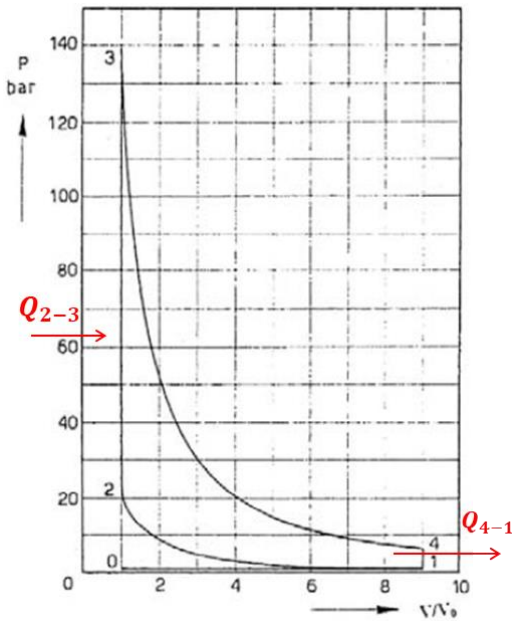


- Durante la fase di **combustione**, che si svolge all'**esterno** del cilindro, viene ceduto al fluido istantaneamente, cioè a volume costante nel piano $p - V$, la quantità di calore Q_{2-3}
- Nel piano $T - S$ il calore Q_{2-3} viene ceduto al fluido lungo la isocora $v_2 = V_2/m$, dove m è la massa d'aria contenuta nel volume V_1 quando il pistone si trova nel **PMI**
- In maniera analoga la temperatura sale istantaneamente (a volume costante) fino alla temperatura T_3 nel piano $p - V$, e lungo l'isocora $v_2 = v_3 = V_2/m = \text{cost}$ nel piano $T - S$

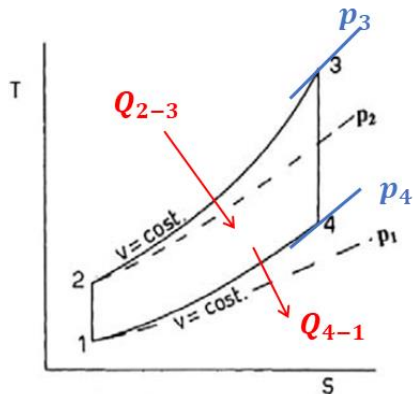


Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto:

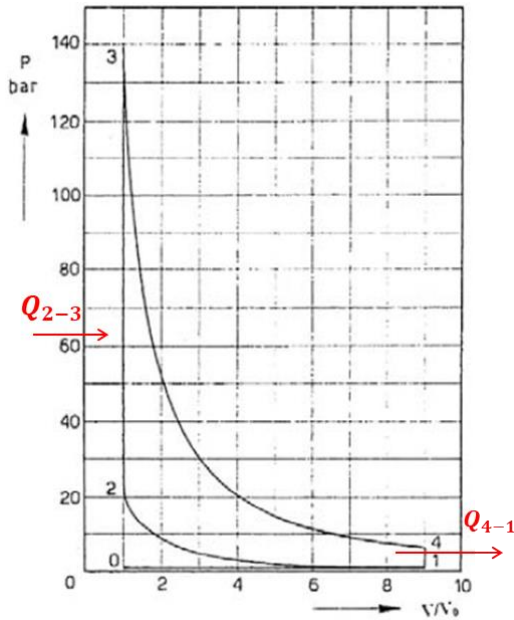
evoluzione



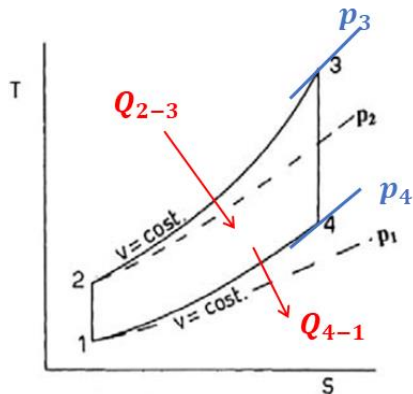
- Al termine dell'espansione, quando il pistone si trova nel **PMI**, avviene istantaneamente la cessione della quantità di calore Q_{4-1} all'ambiente esterno, a volume costante e pari a $V_4 = V_1$ nel diagramma $p - V$ e a volume specifico $v_4 = v_1 = V_4/m = \text{cost}$ nel piano $T - S$
- In maniera analoga la temperatura diminuisce istantaneamente (a volume costante) fino alla temperatura T_1 nel piano $p - V$, e lungo l'isocora $v_4 = v_1 = V_4/m = \text{cost}$ nel piano $T - S$
- La cessione del calore Q_{4-1} all'ambiente esterno è resa evidente nel piano $T - S$ dalla diminuzione della temperatura del fluido da T_4 a T_1



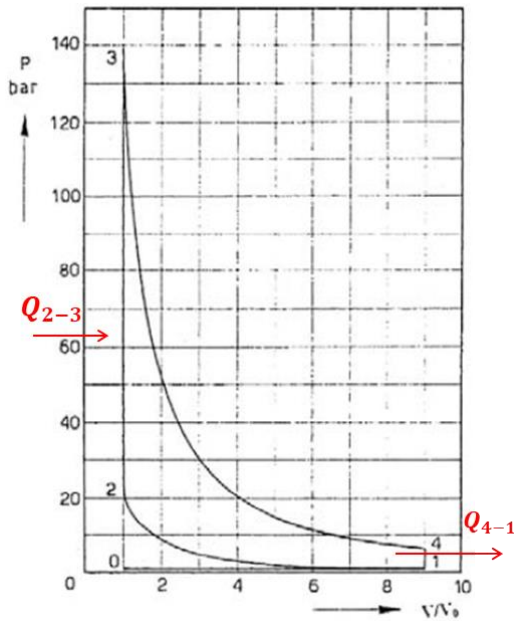
Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: evoluzione



- Sotto l'aspetto teorico il ciclo ideale ad aria proposto da Beau de Rochas **non necessiterebbe del rinnovo della carica**, essendo la combustione esterna al cilindro
- Nella realtà lo scambio termico con l'ambiente avviene con lo **scarico** all'esterno dei gas combusti. Lo scarico dei gas combusti e il rinnovo della carica comporta una **spesa di lavoro** da parte del motore
- Con le fasi di aspirazione **0-1** e di scarico **1-0** si vuole ricordare il **reale** funzionamento del motore, ma il rinnovo della carica non prevede alcuna spesa di lavoro: le fasi **0-1** e **1-0** sono sovrapposte nel piano $p - V \rightarrow \oint p dV = 0$



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: evoluzione



- Il ciclo ideale assume che il fluido operativo sia **aria** supposta **ideale**



Non si considera l'influenza della variazione dei calori specifici con la temperatura e l'influenza della viscosità

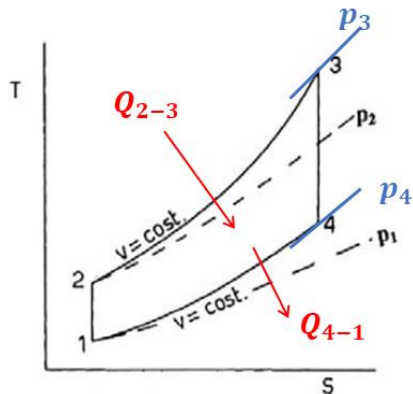


Tutti i parametri termodinamici del ciclo dipendono dal **rapporto volumetrico di compressione**:

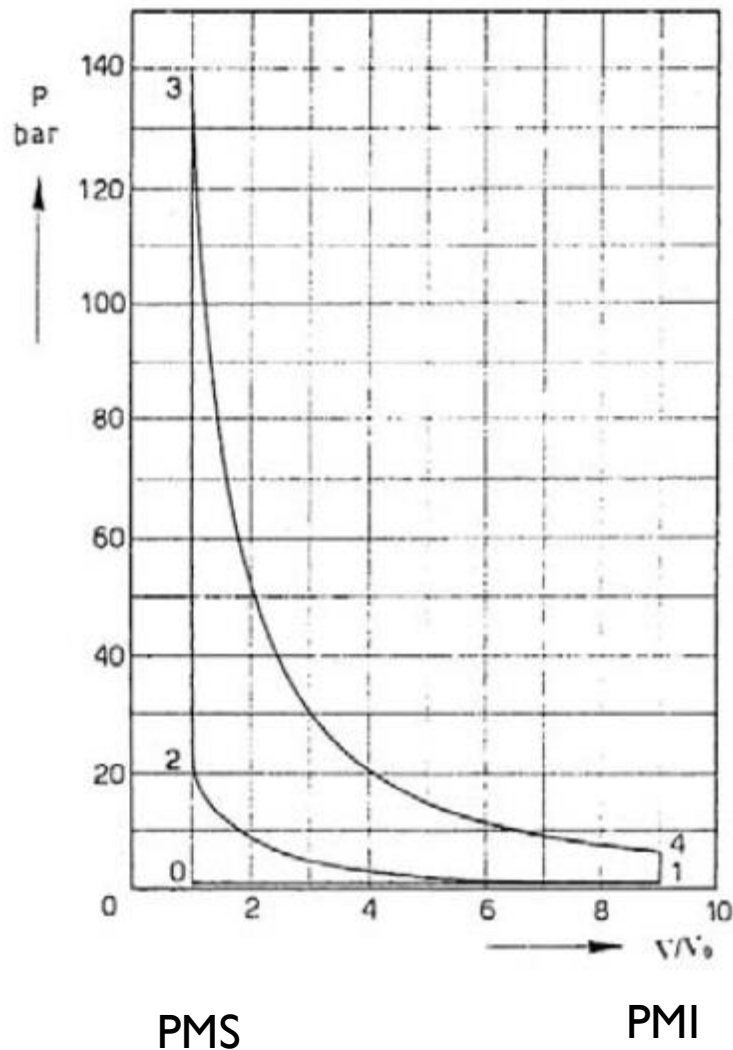
$$r_V = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_1}{V_2}$$



rapporto tra il volume V_1 interno del cilindro quando il pistone si trova al punto morto inferiore **PMI** e tra il volume $V_0 = V_{cc}$ quando il pistone si trova al punto morto superiore **PMS**



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: il rendimento



Rendimento del ciclo ideale

$$(\eta_t)_{id} = \frac{c_v(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)}$$



$$(\eta_t)_{id} = 1 - \left(\frac{1}{r_v}\right)^{k-1}$$

- Il rendimento dipende **solo** da r_v
- Il rapporto di dosatura Δ non conta perché la combustione viene ipotizzata esterna al ciclo



$$r_v = 9$$



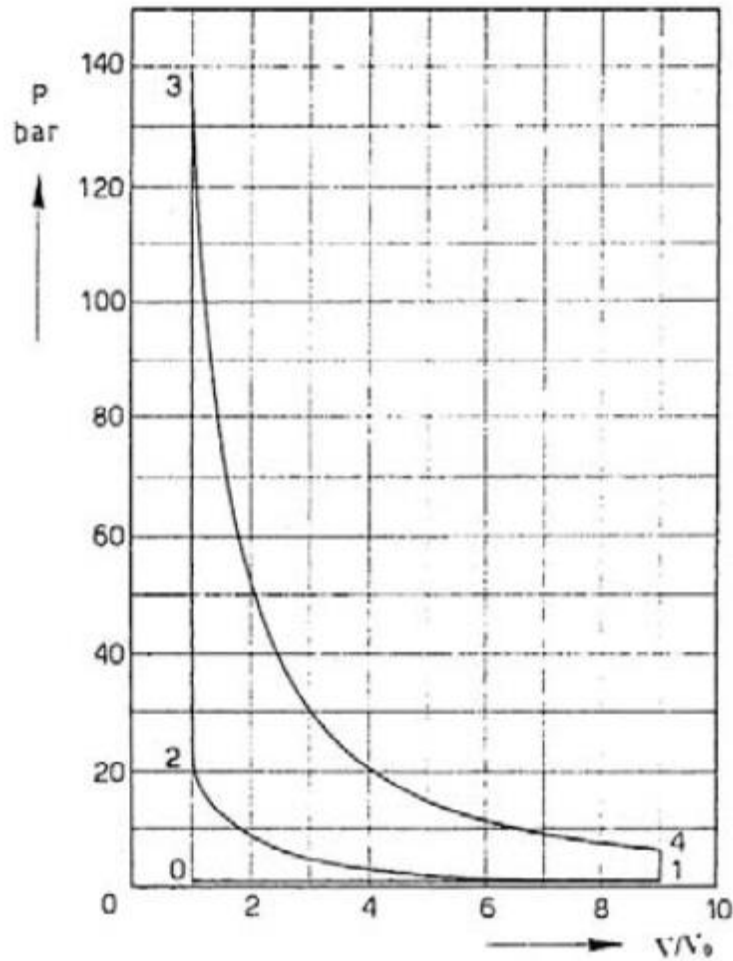
$$(\eta_t)_{id} = 0.585$$



rendimenti **sovrastimati** di circa 60÷70%



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: la potenza



PMS

PMI

La potenza

$$P_{id} = Q_{m,c} H_u (\eta_t)_{id}$$

$$P_{id} = \frac{Q_{m,a}}{\Delta} H_u (\eta_t)_{id}$$

$$P_{id} = \overset{Q_{m,a}}{\rho_a \frac{\pi D^2}{4} \cdot C \cdot Z \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{2 H_u}{\Delta} (\eta_t)_{id}}$$

numero di tempi

(Z = numero di cilindri)

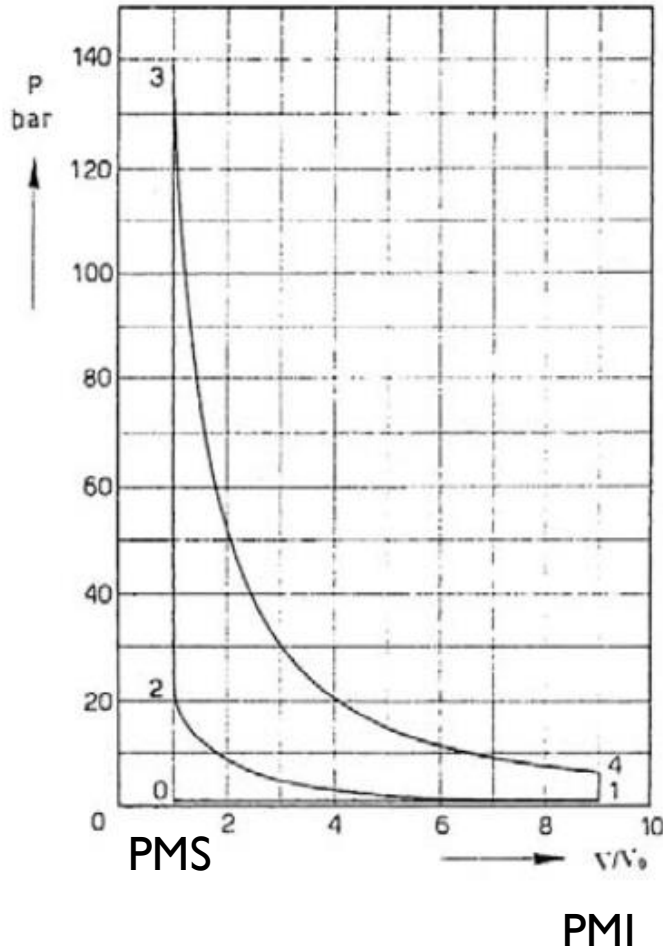
La regolazione della potenza nei motori ad accensione comandata

- Nei motori ad accensione comandata la regolazione della potenza avviene tramite valvola a farfalla posta nel condotto di aspirazione
- La sua apertura o chiusura regola la portata di miscela aria-combustibile che viene ad essere immessa nel cilindro



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: la pressione media

La pressione media

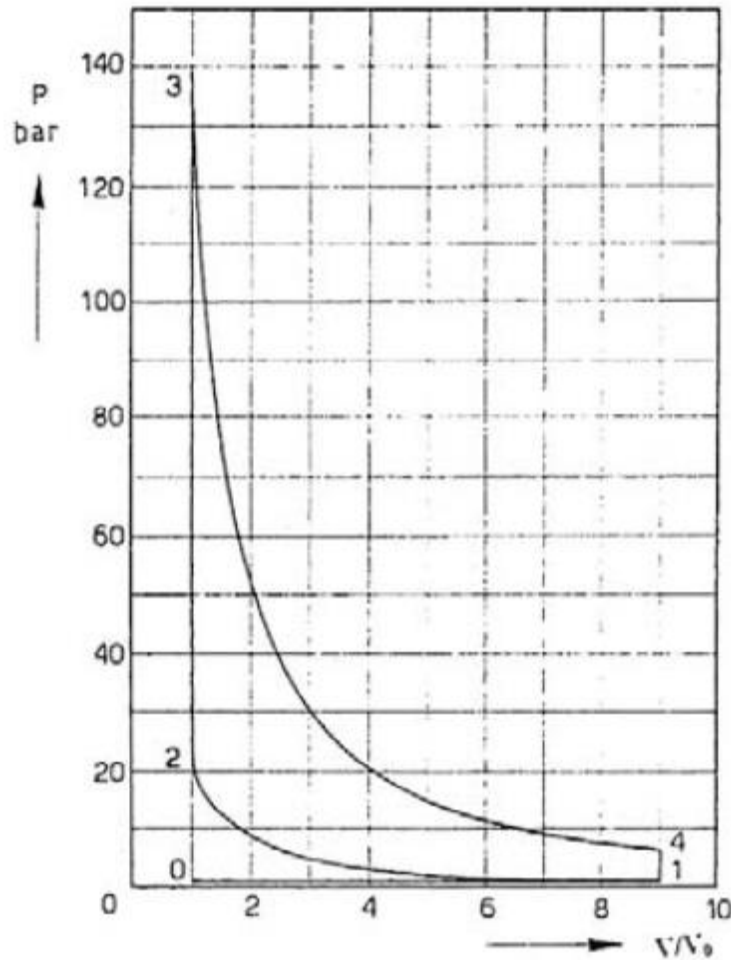


- E' definita come il lavoro del ciclo ideale per unità di cilindrata:

$$p_m = \frac{\oint p dV}{V_g} = \frac{L}{V_g}$$

- E' quella pressione che, se agisse in modo costante sul pistone per tutta la corsa di espansione, produrrebbe tutto il lavoro del ciclo
- La pressione media è un **indice** della **qualità** funzionale di un motore, poiché è legata all'**efficienza** con cui il calore generato dal processo di combustione viene trasformato in lavoro

Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: la pressione media



PMS

PMI

La pressione media

$$p_m = \frac{L}{V_g Z} = \frac{m_c H_u (\eta_t)_{id}}{V_g Z} = \frac{m_a H_u (\eta_t)_{id}}{\Delta V_g Z} = \frac{\rho_a}{\Delta} H_u (\eta_t)_{id}$$

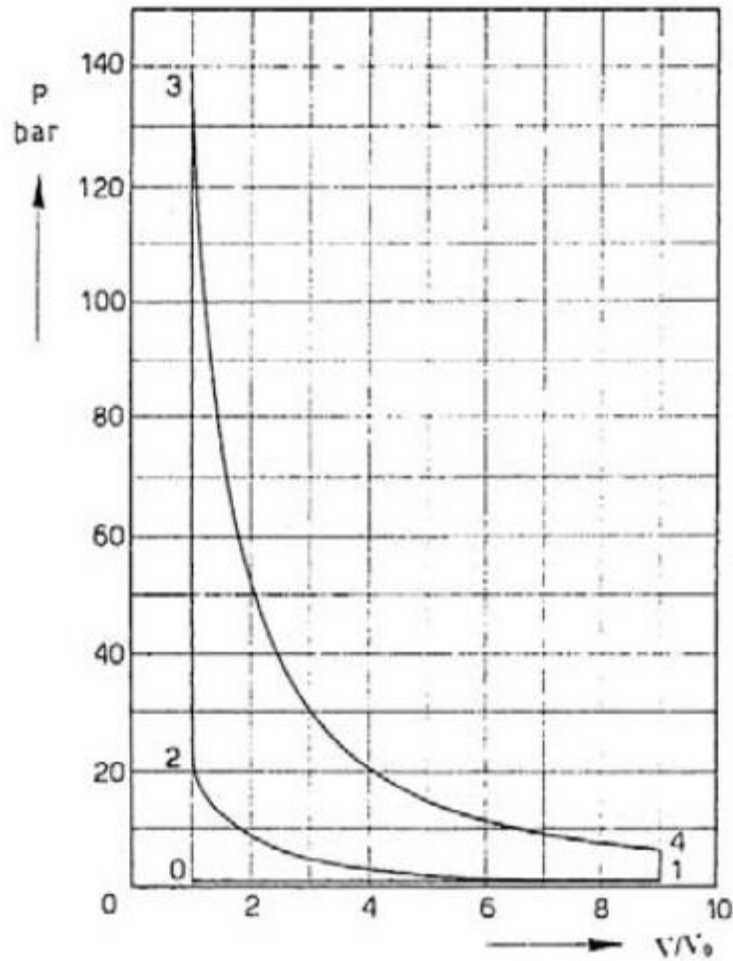
$$p_m = \frac{p_1}{RT_1} \frac{H_u (\eta_t)_{id}}{\Delta}$$

⇒ Motori geometricamente simili nelle medesime condizioni operative hanno la stessa pressione media

$$P_{id} = \underbrace{p_m V_g Z}_L \frac{n}{60} \frac{2}{\tau}$$



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: le prestazioni



PMS

PMI

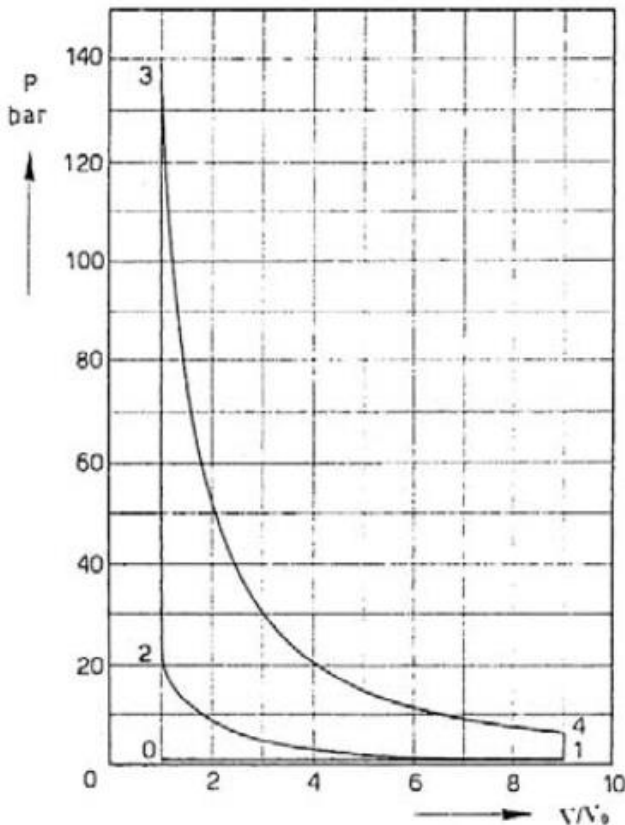
$$p_m = \frac{p_1}{RT_1} \frac{H_u \eta_{tid}}{\Delta} \quad P_{id} = p_m V_g Z \frac{n}{60} \frac{2}{\tau}$$

- **Aumentare** la pressione media p_m equivale ad aumentare la **potenza** P di un motore a parità di cilindrata $V_t = V_g Z$ e regime di rotazione n
- Per aumentare la pressione media p_m si può intervenire sui parametri che influenzano il rendimento η_{tid} , ossia il **rapporto volumetrico di compressione** r_v , oppure sulla **pressione** p_1 con cui l'aria viene immessa nel cilindro, cioè con la sovralimentazione del motore

Ci sono limiti e/o controindicazioni???



Ciclo ideale Beau de Rochas – Otto: le prestazioni



- Se si aumenta r_v , si ottiene un aumento di η_{tid} , p_m e P_{id} :

$$\eta_{tid} = 1 - \left(\frac{1}{r_v} \right)^{k-1}$$

- L'aumento di r_v fa innalzare la pressione e la temperatura massima del ciclo

Ad es. un aumento del 18% del r_v comporta un aumento di p_3 del 84%

- Si possono avere i seguenti inconvenienti:
 - Problemi strutturali
 - Detonazione
- I problemi strutturali derivano da un aumento delle sollecitazioni su tutta la struttura a cui si associa una lubrificazione più critica

Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

