

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia
Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" – Rossano (CS)*



*Le mie lezioni:
Esercizi svolti in Quinta Classe*

Esercizio

Sapendo che la trasmissione della potenza è di 110 kW a 4000 giri/min, determinare il diametro interno di un albero scanalato e la lunghezza delle scanalature.

Si ricorda che il carico di sicurezza è pari a $K_t=3,5 \text{ daN/mm}^2$, che $m=2,5$ e $K=0,8$.

Rappresentare l'accoppiamento descritto.

Risoluzione

$$M_t = 955.000 \times P/n \text{ [(kW)/(giri(min))]} = 26.262,50 \text{ daNmm}$$

OPPURE

$$M_t = P/\omega \text{ [(watt)/(rad/secondi)]} = P.60/2\pi n = 26.273 \text{ daNmm}$$

$$D = \sqrt[3]{16M_t/\pi K_t} = 33,68 \text{ mm}$$

dalla tabella “Accoppiamenti di alberi e mozzi scanalati (UNI 221)
scelgo quello appena superiore: $d=36$ con $\Omega=0,76$

$$\text{Lunghezza scanalatura, } l = m\Omega d/K = 2,5 \times 0,76 \times 36/0,8 = 85,5 \text{ mm}$$

Esercizio

Un bombolone cilindrico di 1500 mm di diametro deve contenere un gas esercitante una pressione di 3 MPa.

Quale dovrà essere lo spessore della lamiera prevedendo una chiodatura a doppio coprighiunto e a due file di chiodi?

Si dimensioi, inoltre, la chiodatura. ($K=8 \text{ daN/mm}^2$).

Rappresentare la chiodatura richiesta.

Risoluzione

$$3\text{Mpa}=0,3 \text{ daN/mm}^2$$

dalla Tabella del Dimensionamento delle Chiodature
per chiodatura a doppio coprighiunto con due file di chiodi

$$\text{Si trova } e=0,75 \div 0,77$$

Quindi, $s = pd/2Ke = 37 \text{ mm}$, dalla stessa Tabella

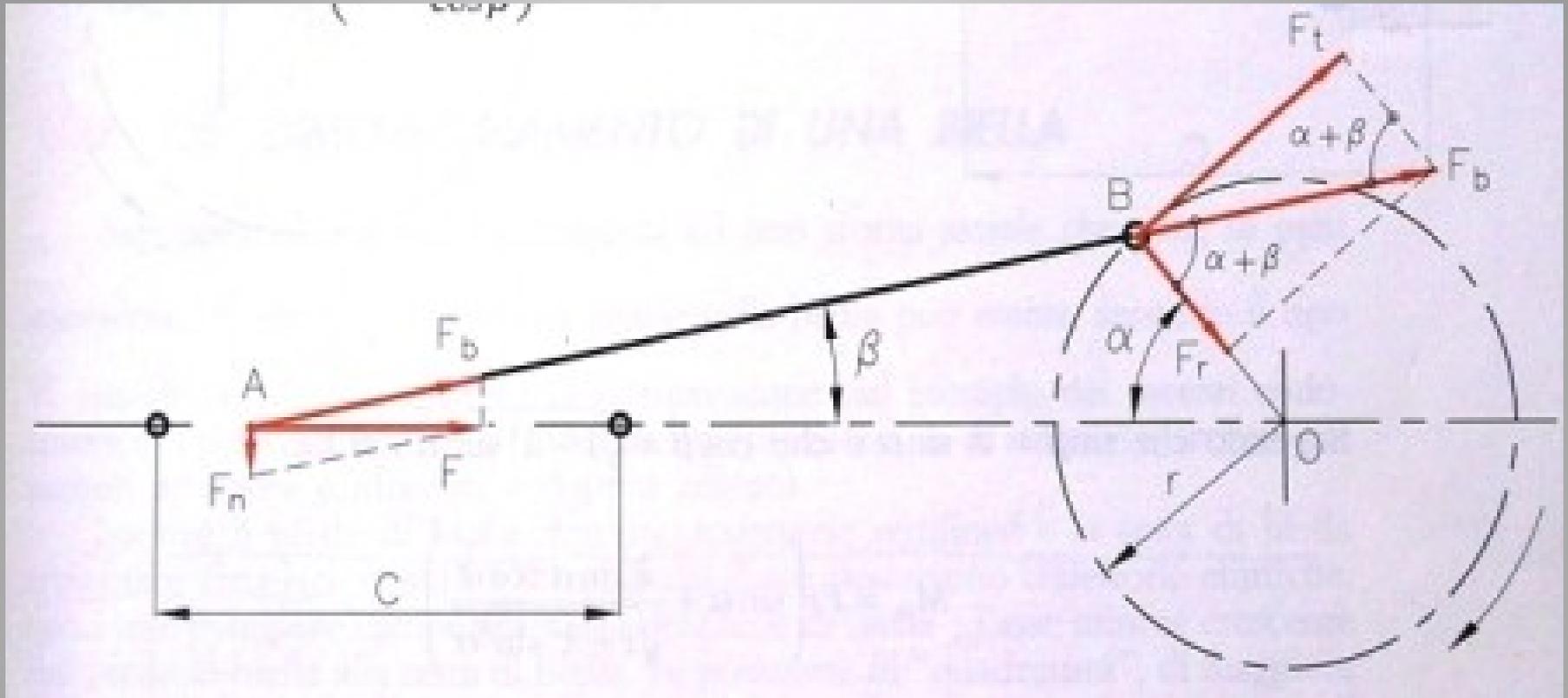
$$\text{si ha } d = 7\sqrt{[37]}-6 = 36,56 \text{ mm} \approx 37 \text{ mm}$$

$$t = 3,5d+15 = 144,50 \text{ mm} \approx 145 \text{ mm}$$

Esercizio

- A) Disegnare lo schema del manovellismo di spinta o Biella-Manovella con le grandezze di riferimento e le forze sviluppate.
- B) Si determini la forza d'inerzia sul piede di biella per uno spostamento angolare della manovella di 35° in un manovellismo di spinta biella/manovella con raggio di manovella = 60 mm e manovella ruotante a 640 giri/minuti, inoltre si sa che la biella è lunga 200 mm e la massa degli elementi di collegamento alla testa della biella è = 3 N.
- C) Sapendo che sul piede della biella del manovellismo è applicata una forza di 4000 N e che gli angoli sono pari a $\alpha=49^\circ$ e $\beta=21^\circ$, trovare la forza agente secondo l'asse della biella e la forza che genera la rotazione della manovella;
- D) In una biella di un motore endotermico di lunghezza = 200 mm, con sezione del fusto = 180 mm^2 , momento d'inerzia minimo = 14.000 mm^4 , sforzo assiale $F_b = 25.430 \text{ N}$, si verifichi le condizioni di sicurezza con una $\sigma_{amm} = 30 \div 40 \text{ N/mm}^2$ e nel caso non sia verificata si ricalcoli l'area della sezione;
- E) Una biella lunga 30 cm accoppiata al raggio di manovella di 9 cm è in quadratura. Si calcoli il valore degli angoli α e β .

Quesito (A)



Quesito (B)

La forza d'inerzia, $F_i = -F = -m \cdot a = -m \omega^2 r (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha)$

con "r" è in metri

Velocità Angolare, $\omega = 2\pi n / 60 = 66,98$ rad/secondi

Rapporto Manovella/biella (Lunghezza Ridotta della Biella), $\lambda = r/b = 0,30$

Per cui $F_i = -742,92$ N = F_i

Quesito (C)

Forza agente Assialmente alla Biella, da $F=F_b \cdot \cos\beta$, segue:

$$F_b = F / \cos\beta = 4.284,57 \text{ N}$$

Forza agente Tangenzialmente alla circonferenza,
genera la rotazione della manovella:

$$F_t = F_b \sin(\alpha + \beta) = 4.026,17 \text{ N}$$

Quesito (D)

Rapporto Minimo d'Inerzia, $\dot{e}_{\min} = \sqrt{I/A}$

(con I, Momento d'Inerzia e A, area o sezione del fusto)

$$\dot{e}_{\min} = 8,81 \text{ mm}$$

Rapporto snellezza, $\lambda_s = l / \dot{e}_{\min} = 22,70 \leq 75$

Biella Tozza, è soggetta sono a compressione

$\sigma_b = F_b / A = 141,27 \text{ N/mm}^2$ che è $>$ della σ_{amm}

per una biella giustamente verificata occorre una sezione di:

$$A_{\text{new}} = F_b / \sigma_b = 635,75 \quad 636 \text{ mm}^2$$

Cioè circa 5 volte superiore, infatti, $\sigma_b = F_b / A_{\text{new}} = 39,98 \text{ N/mm}^2$

Quesito (E)

La condizione di quadratura è quando l'angolo tra la Biella e la Manovella è retto (90 gradi) e ciò equivale a supporre che la somma di $\alpha + \beta$ deve essere $= 90^\circ$ e cioè che $\text{sen}\alpha = \text{cos}\beta$

Dal teorema dei seni si ricava il rapporto caratteristico $\lambda = r/b$

Riferendosi ad un triangolo rettangolo di ipotenusa (i) e base (b , biella) e altezza (r , manovella) si ha:

$$b = i \cdot \text{cos}\beta \text{ e } r = i \cdot \text{sen}\beta \text{ segue } i = b / \text{cos}\beta = r / \text{sen}\beta,$$

$$\text{quindi, } r/b = 9/30 = 0,30 = \text{sen}\beta / \text{cos}\beta = \text{tag}\beta$$

$$\text{ma se } \text{tag}\beta = 0,30$$

$$\text{segue che } \beta = \text{arctag } 0,30 = 16,69$$

$$\text{e, siccome } \alpha + \beta = 90^\circ, \alpha = 90 - 16,69 = 73,31^\circ$$

Esercizio

Si determini il valore del Momento Motore (M_m) di un volano di un'automobile di massa pari a 20 kg e diametro di 300 mm sapendo che ha una velocità angolare, $\Delta\omega=100$ rad/s in 5 secondi e che il suo Momento Resistente $M_r=1/3M_m$.

Risoluzione

$$M_m - M_r = J \cdot \varepsilon$$

Cioè Momento Motore – Momento Resistente =
Momento d'Inerzia di massa x Accelerazione Angolare

$$M_r = 1/3 M_m \text{ per cui } M_m - 1/3 M_m = J \cdot \varepsilon \gg 2/3 M_m = J \cdot \varepsilon$$

$$M_m = J \cdot \varepsilon \times 3/2$$

$$\text{con } J = 20 (0,30)^2 / 4 = 0,45 \text{ kgm}^2$$

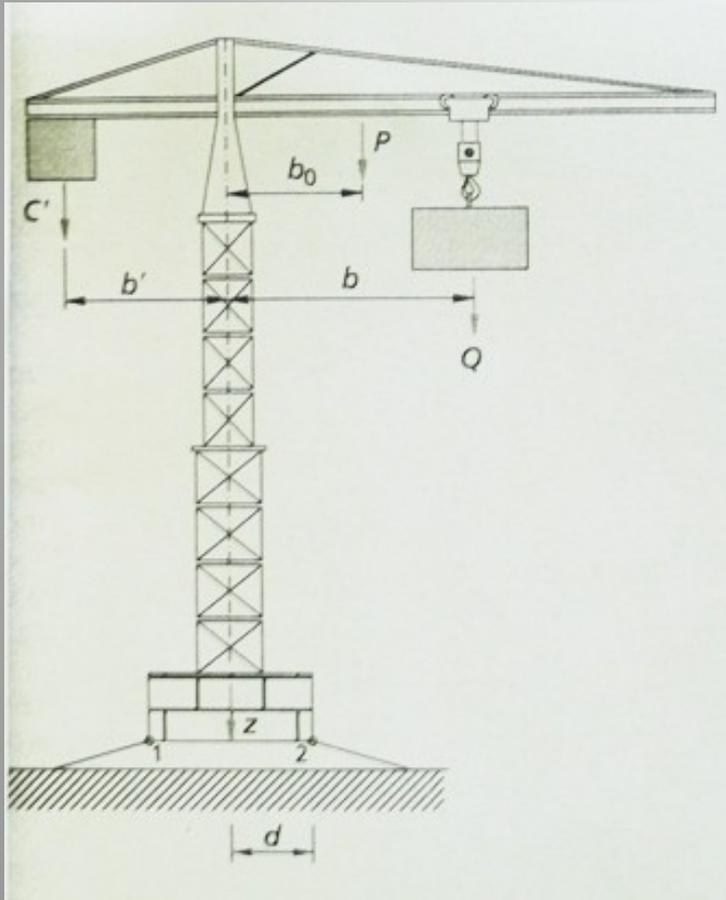
$$\varepsilon = \Delta\omega / t = 100 \text{ rad/s} / 5 = 20 \text{ rad/s}$$

$$\text{Quindi: } M_m = 3/2 \times J \cdot \varepsilon = 13,50 \text{ Nm}$$

$$\text{e } M_r = 1/3 M_m = 4,50 \text{ Nm}$$

Esercizio

Si conosce: il carico da sollevare $Q=35.000\text{ N}$, il contrappeso $C'=50.000\text{ N}$, il peso del braccio e del controbraccio $P=15.000\text{ N}$, il peso della zavorra $Z=100.000\text{ N}$, la lunghezza del braccio $b_{\text{Max}}=25\text{ m}$, la lunghezza del controbraccio $b'=10\text{ m}$, la dimensione della zavorra $2d=10\text{ m}$, il peso della struttura della torre $T=45.000\text{ N}$.



1) Verificare la stabilità della gru sapendo che il grado di stabilità = 1,5.

2) Verificare la stabilità della gru soggetta alla forza orizzontale del vento (F_v) il cui centro di spinta è all'altezza $h=30\text{ m}$, conoscendo il Coefficiente aerodinamico di forma ($k=0,07$), la Proiezione su un piano perpendicolare alla direzione del vento ($s=9\text{ mq}$), la Densità dell'aria ($\rho_a=1,2\text{ daN/m}^3$), la Velocità del vento ($V=60\text{ m/s}$) e il punto di applicazione, $X=2,50\text{ m}$, del Carico Statico Totale Q_t dal punto 2.

3) Verificare la stabilità della gru soggetta alla forza d'inerzia (F_i) dovuta alla traslazione orizzontale per l'accelerazione e per la decelerazione con $a=0,5\text{ m/s}^2$ e $Y=25\text{ m}$,

Quesito (1)

$$b_o = d_{\text{Max}} - b' / 2 = 7,50 \text{ m}$$

Momento Ribaltante rispetto al punto 2, a destra in senso orario,

$$M_t = Q (b_{\text{max}} - d) + P (b_o - d) = 737.500 \text{ Nm}$$

Momento stabilizzante, sempre rispetto al punto 2, a sinistra antiorario
(T agisce come Z),

$$M_s = C' (b' + d) + Z \cdot d + T \cdot d = 1.475.000 \text{ Nm}$$

Per tenere la gru in condizioni di stabilità $M_s/M_r \geq 1,5$,

per cui $1.475.000/737.500 = 2$ che $>$ di $1,5$ – OK

Quesito (2)

$$F_v = K S \rho_a V^2 / 2 = 136,08 \text{ N} \approx 136$$

N.B. ρ_a , densità dell'aria, è m/V (massa/volume)

[kg/m^3 che è una atmosfera = $10 \text{ N}/\text{m}^3 = d \text{ N}/^3 \text{ m}$ con $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$]

$$V = 60 \text{ m/s} = 216 \text{ km/h}$$

Quindi, il momento “rovesciante”, $M_r = F_v \cdot h = 4.089 \text{ Nm} \approx 4.000 \text{ Nm}$,
dovuto alla spinta del vento si oppone momento stabilizzante M_s

che per il Carico Statico Totale,
 $Q_t = C' + T + Z + P + Q = 245.000 \text{ N}$
è pari a $M_s = Q_s \cdot l_x = 612.500 \text{ Nm}$

(con l_x , distanza tra la verticale passante per il baricentro del carico Q_t e il punto 2)

Siccome $M_s \gg M_r$, la gru è stabile

Quesito (3)

La Forza d'Inerzia, $F_i = Q_t \cdot a / g = 12.487 \text{ N}$

Quando accelera F_i è contrario al moto
(eventuale ribaltamento intorno al punto n.1):
 $Q_t (2d - X) > F_i (Y) = 1.837.500 > 312.175 \text{ Nm}$

E' STABILE

Quando decelera F_i ha lo stesso verso del moto
(eventuale ribaltamento intorno al punto n.2):

$Q_t (X) > F_i (Y) = 612.500 > 312.175 \text{ Nm}$

E' STABILE, si noti che la decelerazione è più PERICOLOSA!

Esercizio

Un'automobile GT Omologata è equipaggiata con un motore "Tomcat" a Ciclo Sabathè. Il motore è un quattro tempi con $Z=6$ cilindri, con alesaggio $A=80$ mm e corsa $C=90$ mm. Si sa che a regime $n=3000$ giri/minuti eroga una pressione media $p_m=18$ bar.

A) Calcolare il lavoro prodotto e la carica dei gas freschi a ogni ciclo, la portata massica dell'aria introdotta in condizioni ideali sapendo che la massa volumica dell'aria è $\rho=1,21$ kg/m³.

B) Descrivere e spiegare il ciclo di Sabathè riferendosi ai Diagrammi p/v (pressione/volume) e T/S (temperatura/entropia).

C) Mettere a confronto con adeguati commenti, nel diagramma Rendimento/Rapporto di Compressione il ciclo Sabathè con quello Otto e Diesel.

Quesito (A)

Calcoliamo la cilindrata totale spazzata

$$V_{cil} = C \times \pi A^2 / 4 \times Z = 2.712.960 \text{ mm}^3$$

siccome la cilindrata si misura in cm³ si ha: $2.712.960/1000 = 2.712,96$ cm³

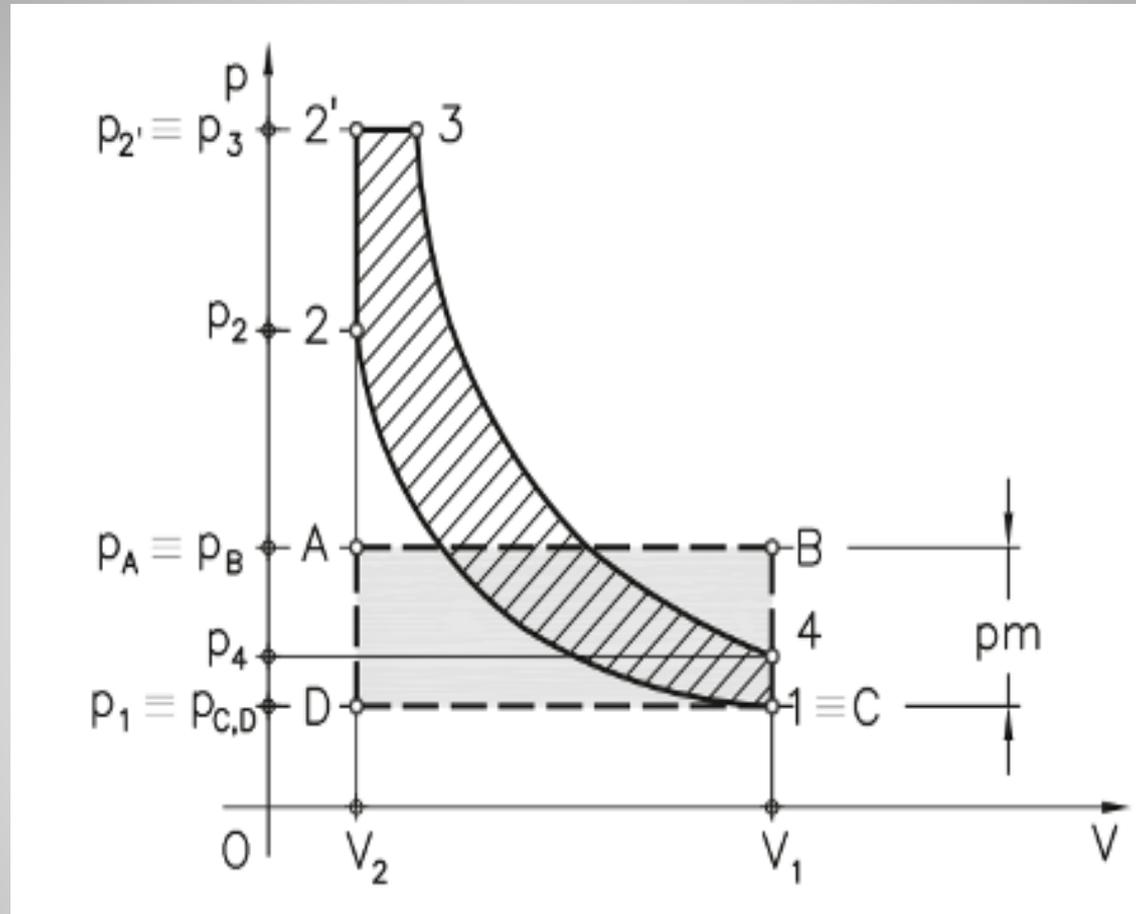
Il lavoro totale prodotto "L_{tot}" ad ogni ciclo dalla massa "m"

(dei gas freschi intrappolati nel cilindro) è uguale a $L_{tot} = p_m \times V_{cil}$

e la pressione media "p_m" = $L_{tot}/V_{cil} = L_{tot}/(V_{pmi}-V_{pms})$

(si precisa che p_{mi} e p_{ms} sono i punti morti, inferiore e superiore)

$$[\text{J/m}^3] = [\text{Nm/m}^3] = [\text{N/m}^2] = [\text{Pa}] = [10\text{N/cm}^2]$$



Allora, ponendo $1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$ e $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ m}^3 / 1.000.000$
 Si ha che $L = L_{\text{tot}} = p_m \times V_{\text{cil}} = 4.883,32 \text{ [J]}$

La frequenza di rotazione, $n=3000/60=50$ giri/secondo.

Le fasi utili al secondo, per un motore a 4 tempi,
è pari alla metà della frequenza di rotazione,
quindi, il motore, svolge 25 fasi utili al secondo.

Cioè, 25 aspirazioni e 25 introduzioni di carica di gas freschi al secondo
che è pari al volume spazzato dal pistone,

Segue la portata volumetrica ideale $Q_v=V_{cil} \times 25$
che sono le volte al secondo che viene riempito d'aria.

Quindi: $Q_v=fasi\ utili \times V_{cil} = 67.824\ cm^3/secondo = 67,824\ dm^3/sec.$

Da qui si ricava la portata in massa dell'aria

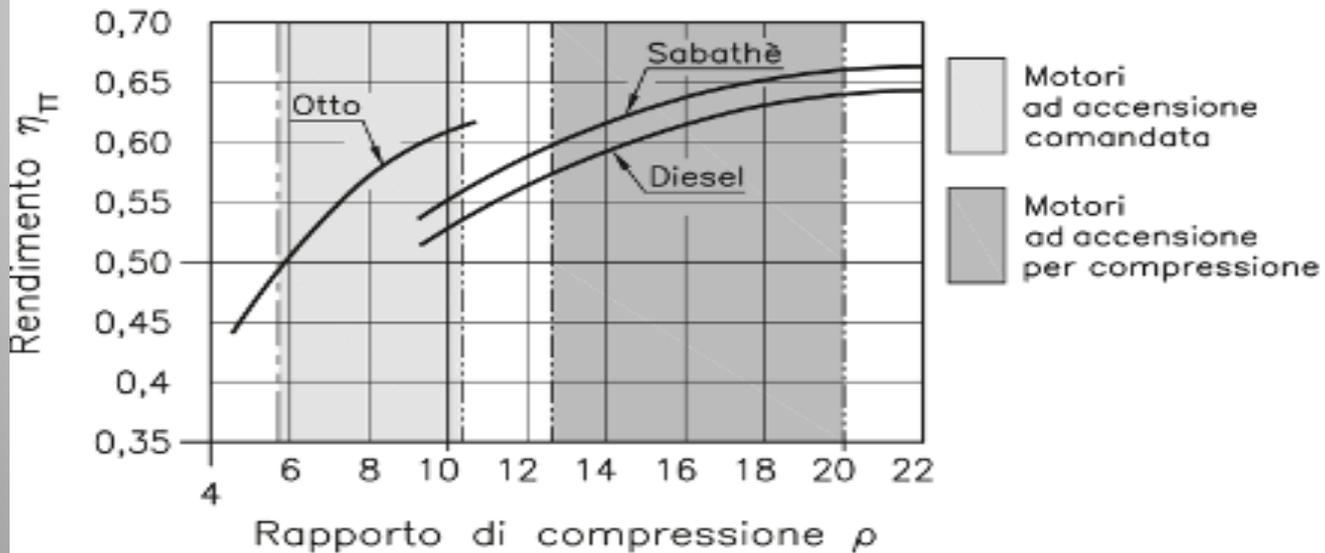
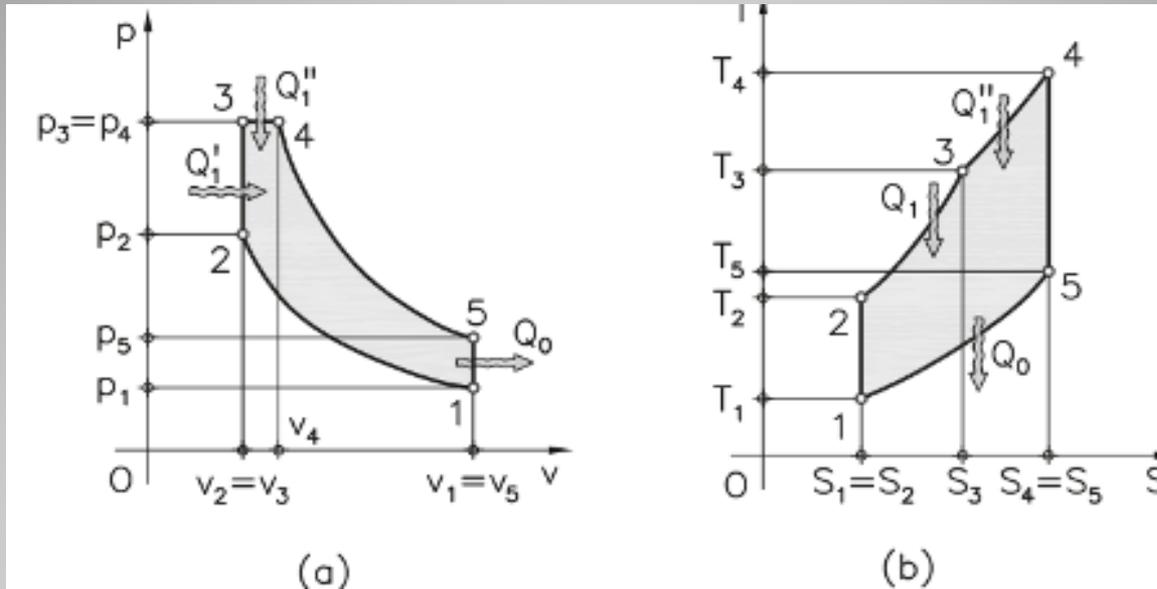
$$G_a=\rho.Q_v= 0,082\ kg/sec. = 82\ g/sec$$

ma $G_a/fasi\ utili\ al\ secondo = m$ (massa introdotta nel motore) $= 82/25 = 3,28\ g/ciclo$

la massa "m", la porta volumetrica "Qv" e la portata in massa "Ga"

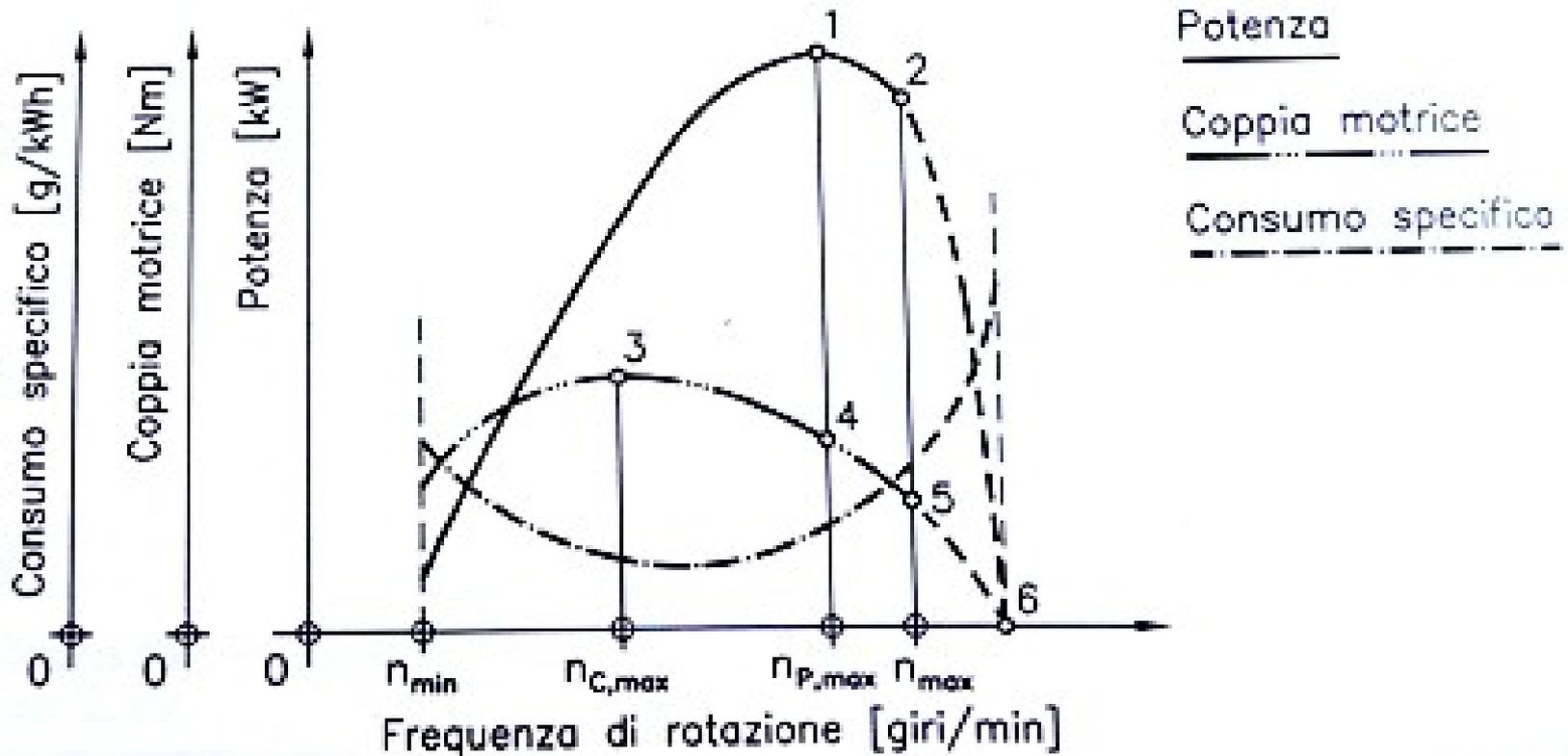
sono riferite alle condizioni ideali di funzionamento
cioè a riempimento reale del pistone che è impedito
dall'inerzia del fluido al moto e dagli attriti
che rallentano i flussi specialmente agli alti regimi.

Quesito (B e C)



Esercizio

Relazionare con commenti e osservazioni proprie sul Diagramma delle Curve Caratteristiche di un generico motore endotermico alternativo a combustione interna, con riferimento al Banco di prova del laboratorio e a quanto spiegato nella lezione apposita.



Esercizio

Sapendo che un motore “quadrato” a scintilla a 4 tempi e a 4 cilindri ha una P (potenza) = 95 KW a 4.500 giri/min e una p_{me} (pressione media effettiva) = 6,5 bar. Calcolare l'alesaggio e la corsa.

Premessa Risoluzione: Sapendo che: P_e (potenza effettiva) = $p_{me} V n/300 i$

con p_{me} (pressione media indicata); V (cilindrata totale in dm^3); n (numero dei giri dell'albero motore al minuto); i (numero dei tempi del ciclo operativo)

*Per cui la la cilindrata totale $V = P_e 300 i / p_{me} n$ e quella unitaria $V_u = V/4$ cilindri ma V_u è pure = $3,14 * (r)$ al quadrato * corsa = $3,14 * (d/2)$ al quadrato * corsa = $3,14 * (d)$ al quadrato/4 * corsa > per un motore “quadrato” cioè corsa=alesaggio(diametro) si ha: $V_u = 3,14 * (d)$ al cubo/4.*

Segue che (corsa=alesaggio) $d = \text{Radice Cubica di } 4V_u/3,14$.

RISOLUZIONE NUMERICA

$$V(\text{cilindrata totale}) = 3,89743 \text{ dm}^3 = 3897,43 \text{ cm}^3$$

$$V_u(\text{cilindrata unitaria}) = 974,35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Alesaggio=corsa}>d = \text{Radice cubica di } (1.241,21) = 10,74 \text{ cm} = 107,4 \text{ mm}$$

Continua ...

Continua ...

Sapendo che la benzina ha un'energia interna massica $U=42.000$ kJ/kg, il Rendimento Totale $\eta_t=0,28$, il salto di temperatura ($t_u-t_e=15$), il raffreddamento disperde lo $0,22=Q_r$ del calore disponibile, calcolare la portata della pompa di circolazione del liquido di raffreddamento.

RISOLUZIONE NUMERICA

$\eta_t=3600/m_s \cdot u$ con m_s [kg/kW/h]= Consumo Specifico

e u = Energia interna massica [kJ/kg]

$$m_s = 3600/\eta_t \cdot u = 0,30 \text{ kg/kW/h}$$

Consumo orario di combustibile $m_c=m_s$. $P_e = 28,50$ kg/h

Quantità di calore prodotto in un'ora $Q_1 = m_c \cdot u = 1.197.000$ kJ/h

Quantità di calore asportato dal refrigerante $Q_r = 263.340$ kJ/h

Portata liquido $Q_v=Q_r/4,187 (t_u-t_e) 3600 = 1,164$ dm³/s

Esercizio

Un motore a scintilla a 4 tempi e a 4 cilindri ha l'alesaggio dei cilindri di 75 mm e la corsa di 65 mm sapendo che il rapporto di compressione $r=10:1$, calcolare la cilindrata totale e il volume della camera di combustione.

Premessa Risoluzione: r (rapporto di compressione) $= (V_u + V_c) / V_c$ da r si ricava
 $V_c = V_u / r - 1$.

RISOLUZIONE NUMERICA

$$\begin{aligned} \text{Area sezione cilindro } A &= 3,14 * d^2 / 4 = 4415 \text{ mm}^2 = 44,15 \text{ cm}^2 \\ V_u (\text{cilindrata unitaria}) &= A * \text{corsa} = 286975 \text{ mm}^3 = 286,975 \text{ cm}^3 \\ &\text{anche in cm} > 44,15 * 6,5 = 286,975 \text{ cm}^3 \\ V (\text{cilindrata totale}) &= V_u * 4 = 1.147,9 \text{ cm}^3 \\ V_c &= 31,88 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Esercizio

Calcolare la potenza effettiva di un motore a 4 tempi (t), 4 cilindri, che ha una cilindrata V di 1770 cm^3 , una pressione media effettiva di $7,2 \text{ bar}$ e funziona al regime di 5000 giri al minuto. Determinare anche la corsa e l'alesaggio di ogni cilindro con un rapporto corsa/diametro (m) $=1,1$.

RISOLUZIONE NUMERICA

$$P_{me}=7,2 \text{ bar}=720000 \text{ Pa}; V=1770 \text{ cm}^3= 0,00177 \text{ m}^3; t=4$$

$$P_e \text{ (potenza effettiva)} = P_{me} \cdot V \cdot n / 1000 \cdot 60 \cdot (t/2) = 53,1 \text{ kw}$$

Il volume di ogni cilindro si ottiene dividendo per 4 la cilindrata: $V'=V/4=442,5 \text{ cm}^3$

Assegnando il rapporto corsa/diametro $m=1,1$ si ha:

$$V'=\pi D^2 \cdot c(\text{corsa})/4 = \pi D^3 \cdot m/4$$

$$D=\text{Rad}^3(4 \cdot V'/\pi m) = 8 \text{ cm}$$

La corsa c vale $c=m \cdot D = 8,8 \text{ cm} = 0,088 \text{ mt}$

La velocità media del pistone vale $V_m=2 \cdot c \cdot n/60= 14,67 \text{ m/s}$

Esercizio

Un motore a scintilla a 4 tempi e a 4 cilindri con cilindrata $V = 1100 \text{ cm}^3$ e 4.500 giri/min viene modificato abbassando la testata fino a ottenere il rapporto di compressione $r=10:1$ e una pme (pressione media indicata) = 8,24 bar.

Premessa Risoluzione: Sapendo che: **Pe (potenza effettiva) = pme V n/300 i**

con pme (pressione media indicata); V(cilindrata totale in dm³); n (numero dei giri dell'albero motore al minuto); i (numero dei tempi del ciclo operativo)

r (rapporto di compressione) = $(V_u + V_c) / V_c = V_t$ (volume cilindrata + camera combustione) / V_c - pag.239 Vol.3.

– da r si ricava **$V_c = V_u / r - 1$** .

RISOLUZIONE NUMERICA

Pe (potenza del motore modificato) = 33 Kw

V_u (cilindrata unitaria) = $V / 4 = 275 \text{ cm}^3$

$V_c = 30,55 \text{ cm}^3$

Esercizio 1

Perché i Turboreattori vengono impiegati solo per le alte Velocità?

RISOLUZIONE

Perché il Rendimento Propulsivo diminuisce con il diminuire della velocità d'ingresso dell'aria, V_a .

$$\text{Infatti: } \eta = P_s/P_p = Q_a (V_g - V_a) V_a / Q_a (V_g^2 - V_a^2/2) = 2/(1 + V_g/V_a)$$

Esercizio 2

Qual è la spinta fornita da un turboreattore che viaggia alla velocità di 1.000 Km/h = V_a ed eroga una potenza di spinta pari a 5.000 kw?

RISOLUZIONE

$$V_a = 1.000 \text{ km/h} = 1.000/3,6 = 278 \text{ m/s per cui } \gg \mathbf{F = 1000 \times P_s/V_a = 1000 \times 5.000/278 = 17.986 \text{ N}}$$

Esercizio

Un ventilatore assorbe una potenza (P_a) di 8 KW e lavora con una portata $Q_v = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ tra una pressione $p_1 = 600 \text{ Pa}$ e $p_2 = 100 \text{ Pa}$, calcolare la potenza utile (P_u) necessaria al funzionamento e il rendimento.

RISOLUZIONE

$$P_u = Q_v \cdot (p_1 - p_2) / 1000 = 5.000 / 1.000 = 5 \text{ KW}$$

$$\eta = P_u / P_a = 5 / 8 = 0,62$$