



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura



Corso di MACCHINE [065IN]
Corso di MACCHINE MARINE [100IN]

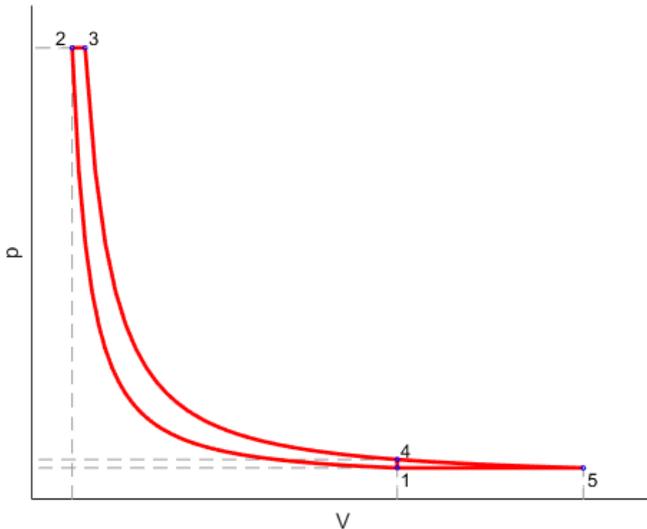
Prof. Rodolfo Taccani
Prof. Lucia Parussini

A.A. 2021-2022

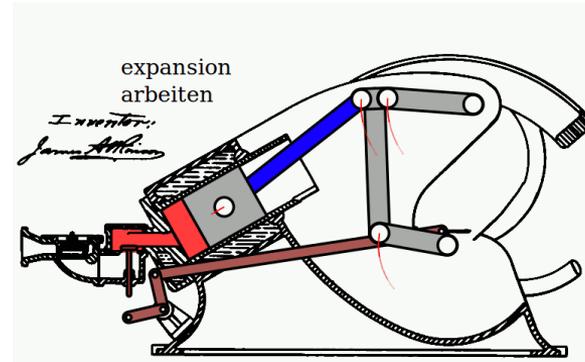
Esercitazione

Confronto di un motore 4T marino nelle varianti Diesel e Atkinson

Si vuole calcolare il ciclo ideale e il rendimento indicato del motore 4T [Wartsila 6L46F](#) per applicazione marina per propulsione (ME CPP variable speed) nelle varianti Diesel e Atkinson.



Ciclo ideale Diesel (1-2-3-4) e Atkinson (1-2-3-5)



Schematizzazione motore a ciclo Atkinson

Esercitazione

Confronto di un motore 4T marino nelle varianti Diesel e Atkinson

Dati motore

Dalla scheda tecnica del motore Wartsila 6L46F a 4 tempi con 6 cilindri in linea (6L) alimentato con combustibile liquido tradizionale (F) considerando il funzionamento al 100% del carico si ricavano i seguenti dati di interesse:

$\tau = 4$ tempi

$C = 580$ mm (corsa)

$D = 460$ mm (alesaggio)

$\bar{u}_p = 11.6$ m/s (velocità media dello stantuffo, quindi è un motore medium speed essendo $7 \text{ m/s} \leq \bar{u}_p \leq 12 \text{ m/s}$)

$n = 600$ giri/min

$P = 1200$ kW (potenza per cilindro)

Assumendo che le condizioni del punto 1 siano quelle dell'aria a temperatura e pressione dopo l'intercooler, dalla scheda tecnica si ricava che la temperatura dell'aria dopo il raffreddamento è

$T_1 = 50^\circ\text{C}$

$SFOC = 183.4$ g/kWh (consumo specifico) ipotizzando di utilizzare HFO come combustibile

Esercitazione

Confronto di un motore 4T marino nelle varianti Diesel e Atkinson

Dati motore (stimati)

Dai data sheet del produttore i dati ottenibili sono insufficienti per procedere con i calcoli.
Dobbiamo quindi stimare i restanti parametri.

Delle condizioni del punto 1 conosciamo solo la temperatura, per la pressione si può ipotizzare un valore di pressione di sovralimentazione

$$p_1 = 4.8 \text{ bar.}$$

Esercitazione

Confronto di un motore 4T marino nelle varianti Diesel e Atkinson

Dati motore (stimati)

Rimane da determinare il volume al PMS (V_2) e quello al PMI (V_1).

Si sa che ρ_v (rapporto di compressione volumetrico)

$$\rho_v = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/k}$$

Inoltre

$$V_1 - V_2 = \pi \frac{D^2}{4} C$$

Quindi

$$V_1 = 0.1036 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.0072 \text{ m}^3$$

Si ricorda che: HFO $H_i=41$ MJ/kg

Esercitazione

Confronto di un motore 4T marino nelle varianti Diesel e Atkinson

1-2 adiabatica

2-3 isobara

3-4-5 adiabatica

4-1 isocora

5-1 isobara

Per gas ideali:

Trasformazione adiabatica

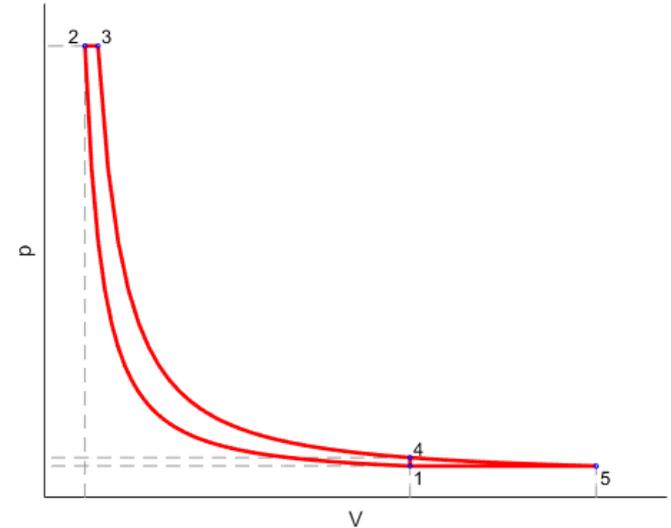
$$pV^k = cost$$
$$pT^{k/(1-k)} = cost$$

Trasformazione isobara

$$\frac{V}{T} = cost$$

Trasformazione isocora

$$\frac{p}{T} = cost$$



Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)

Si vuole calcolare il volume del serbatoio di combustibile e le potenze termiche recuperabili da un motore 4 tempi alimentato con HFO, LNG e CNG.

Si fa riferimento a due motori Wartsila 16 cilindri a V : [16V46F](#) e [16V46DF](#), di cui il secondo è dual fuel.

Si chiede di determinare

- il volume dei serbatoi per garantire un'autonomia di 7 giorni con un carico dell'85% nel caso di funzionamento con HFO, LNG e CNG
- potenza termica recuperabile dai gas di scarico del motore e dalle acque di raffreddamento delle camicie
- nel caso di alimentazione con LNG determinare le portate di fluido caldo per rigassificare l'LNG e per portarlo alla temperatura di immissione e la potenza del compressore per poterlo iniettare alla pressione richiesta.

Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)

16V46E

motore alimentato con combustibile liquido tradizionale per la propulsione navale (ME) a velocità variabile (CPP variable speed)

DATI

$n = 600$ giri/min

$P = 1200$ kW/cilindro potenza per cilindro

$z = 16$ cilindri

$SFOC = 173.0$ g/kWh consumo specifico all'85% del carico

caratteristiche dei gas di scarico dopo il turbocompressore all'85% del carico massimo e HFO come combustibile

$\dot{m}_f = 29.6$ kg_f/s portata massica dei fumi

$T_f = 336^\circ\text{C}$

$Q_{JW} = 2400$ kW recupero attraverso l'acqua di raffreddamento delle camicie (Jacket Water HT-circuit) al 100% del carico

Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)

16V46DF

motore dual fuel per la propulsione navale (ME) a velocità variabile (CPP variable speed) alimentato a gas naturale, che possiamo stoccare come gas naturale liquefatto (LNG) o gas naturale compresso (CNG)

DATI

$n = 600$ giri/min

$P = 1145$ kW/cilindro potenza per cilindro

$z = 16$ cilindri

Considerando che il carico è pari all'85% di quello massimo si ricava

$BSEC = 7373.3$ kJ/kWh consumo specifico del solo combustibile gassoso

$pilot\ fuel\ consumption = 1.2$ g/kWh consumo della fiamma pilota

caratteristiche dei gas di scarico dopo il turbocompressore

$\dot{m}_f = 29.3$ kg_f/s carico 100% $\dot{m}_f = 21.9$ kg_f/s carico 75% portata massica dei fumi

$T_f = 367^\circ\text{C}$ carico 100% $T_f = 384^\circ\text{C}$ carico 85% $T_f = 390^\circ\text{C}$ carico 75%

Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)

[16V46DF](#)

motore dual fuel per la propulsione navale (ME) a velocità variabile (CPP variable speed) alimentato a gas naturale, che possiamo stoccare come gas naturale liquefatto (LNG) o gas naturale compresso (CNG)

DATI

Caratteristiche del sistema ad alta temperatura di raffreddamento ad acqua (HT cooling water system)

Temperatura prima dei cilindri al 100% carico $T_{in} = 75^{\circ}\text{C}$

Temperatura dopo raffreddamento $T_{out} = 93^{\circ}\text{C}$

La potenza recuperabile dall'acqua di raffreddamento delle camicie al 100% del carico è $Q_{JW} = 2224 \text{ kW}$.

Gli ultimi dati di interesse riguardano il sistema di alimentazione del combustibile ovvero le caratteristiche alle quali va portato il gas naturale per l'immissione nel motore

$p = 600 \div 800 \text{ kPa}$ pressione in ingresso minima al 100% carico

$T = 0 \div 60^{\circ}\text{C}$ temperatura di ingresso del gas

Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)

[16V46DF](#)

motore dual fuel per la propulsione navale (ME) a velocità variabile (CPP variable speed) alimentato a gas naturale, che possiamo stoccare come gas naturale liquefatto (LNG) o gas naturale compresso (CNG)

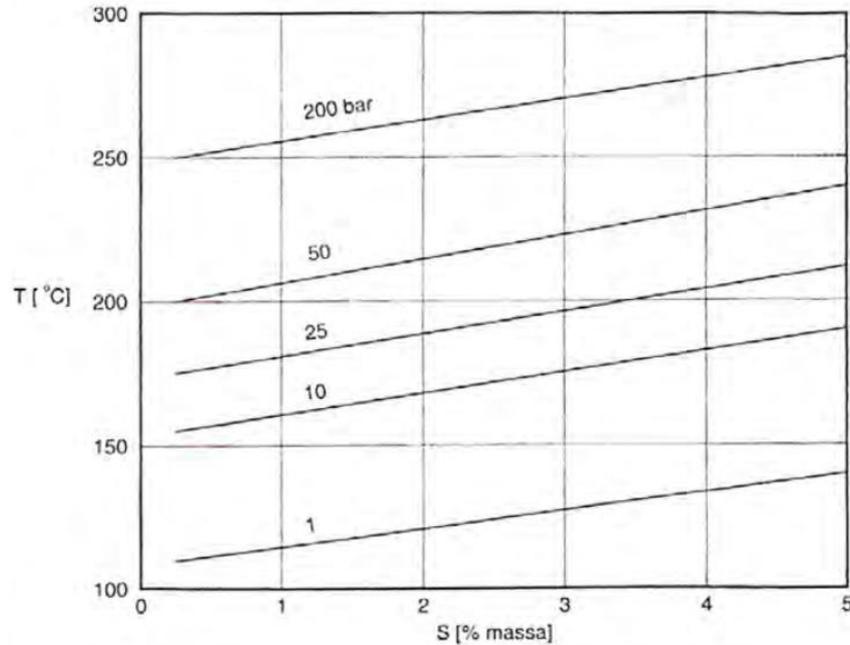
DATI

In funzione delle condizioni di stoccaggio del gas naturale si ricavano i seguenti valori di entalpia e densità approssimando il gas natural come metano:

Modalità stoccaggio	p [bar]	T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]
LNG	1	-162	423.11	-1.8014
CNG	300	25	212.65	692.52
CNG	700	25	307.99	693.42

Esercitazione

Confronto tra motore tradizionale (F) e dual fuel (DF)



Andamento della temperatura di rugiada dell'acido solforico al variare della percentuale in massa di zolfo contenuto nel combustibile e per differenti valori della pressione



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di
**Ingegneria
e Architettura**