

Macchine termiche

Termologia

Studio della produzione e trasmissione del calore; effetti prodotti su un corpo dalla somministrazione o sottrazione di calore.

Calore

energia termica che può essere trasformata in lavoro (principio di Joule); si misura in joule (J). Viene prodotto dalla combustione: reazione esotermica tra un combustibile e un comburente (ossigeno). I combustibili sono materiali solidi, liquidi e gassosi

Temperatura

misura dell'energia termica posseduta da un corpo. Si misura in kelvin (K) con $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$

Potere calorifico

quantità di calore che è possibile sviluppare da 1 kg di sostanza solida e liquida o da 1 m³ di gas. Si misura in J/kg o J/m³

- **Pcs**, potere calorifico superiore: quantità di calore effettivamente sviluppata;
- **Pci**, potere calorifico inferiore: quantità di calore sviluppata meno quella parte utilizzata per trasformare in vapore la parte di acqua presente in ogni sostanza

Calore specifico

quantità di calore necessaria per aumentare di 1 kelvin la temperatura della massa di 1 kg di una sostanza. È caratteristico di ogni sostanza e dell'intervallo di temperatura

calore specifico medio

legame tra la quantità di calore Q che si ottiene da una massa m di sostanza e la variazione di temperatura da T_1 a T_2

$$C_{sm} = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

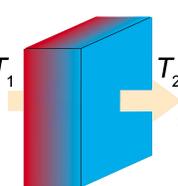
Trasmissione del calore

avvicinando due corpi a temperature diverse, si verifica cessione di calore dal più caldo al più freddo. Il passaggio di energia nell'unità di tempo (flusso di calore) si mantiene tra i due corpi finché non si portano alla stessa temperatura. Il flusso può aver luogo in tre modi:

conduzione

propagazione di una quantità di calore Q attraverso mezzi solidi.

Legge di Fourier: il flusso Φ di calore che attraversa perpendicolarmente una parete omogenea con conducibilità termica λ [W/m·K], superficie A [m²] e spessore s [m] vale:

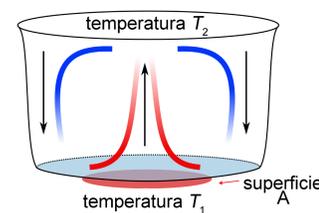
$$\Phi = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{s} \text{ [W]}$$


convezione

all'aumentare della temperatura di un fluido, diminuisce la densità; viceversa, la densità aumenta quando si raffredda. Parti di fluido a temperature diverse subiscono movimenti: le porzioni più dense (fredde) si spostano verso il basso e le più calde verso l'alto.

Legge di Newton: il flusso Φ di calore che si origina dal contatto tra una parete di superficie A [m²] alla temperatura T_1 e un fluido a temperatura T_2 con coefficiente di scambio termico α [W/m·K] vale:

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \text{ [W]}$$

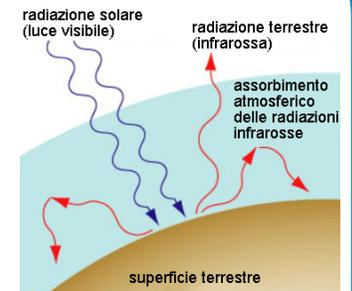


irraggiamento

una superficie a temperatura T emette un flusso termico sotto forma di onde elettromagnetiche che si propagano nel vuoto o in un mezzo che non sia opaco (aria). Il flusso vale:

$$\Phi = \sigma \cdot A \cdot T^4 \text{ [W]}$$

$$\text{con: } \sigma = 5,77 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \text{]}$$



Termodinamica

Si occupa della trasformazione di energia termica in lavoro meccanico e viceversa.

gas perfetto

gas con forze intermolecolari nulle, che tende a occupare tutto lo spazio disponibile

equazione di stato dei gas perfetti

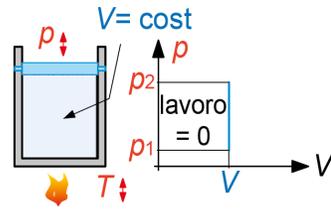
$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

p : pressione;
 V : volume;
 m : massa del gas (kg);
 R : costante caratteristica (J/kg K)

trasformazioni di un gas

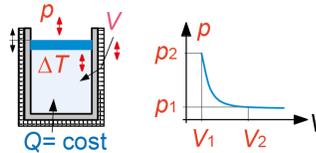
Isocora (volume costante)

si fornisce una quantità di calore Q a un gas contenuto in un recipiente chiuso e isolato termicamente. T e p del gas aumentano. Q causa l'aumento dell'energia interna U :
 $Q = U_2 - U_1$ [J]



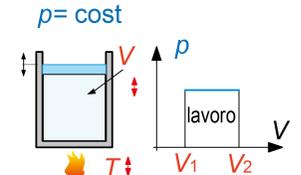
Adiabatica

si applica una pressione p sul coperchio mobile del recipiente a pareti isolate. Aumentano p e T , diminuisce V . Aumenta l'energia interna U del fluido:
 $L = U_2 - U_1$ [J]



Isobara (pressione costante)

si fornisce una quantità di calore Q al fondo di un recipiente isolato con coperchio mobile. L'espansione del gas sposta il coperchio producendo un lavoro L ; p rimane costante, T e U aumentano:
 $Q - L = U_2 - U_1$



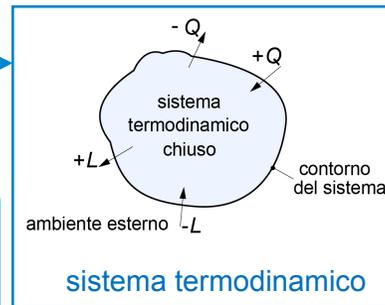
principi della termodinamica

Primo principio

la somma algebrica di tutte le forme di energia che attraversano il contorno del sistema (cioè lavoro e calore) equivale alla variazione di energia interna del sistema

Secondo principio (Carnot)

è impossibile realizzare un ciclo termodinamico in cui tutto il calore fornito sia convertito in lavoro

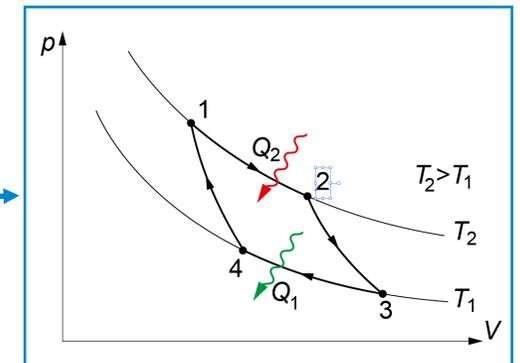


ciclo termodinamico

serie di trasformazioni tali da consentire il ritorno del fluido nelle condizioni iniziali

Ciclo di Carnot

- 1-2: espansione isoterma a temperatura T_2 , al sistema si fornisce la quantità di calore Q_2 ;
- 2-3: espansione adiabatica;
- 3-4: compressione isoterma a temperatura T_1 , il sistema cede la quantità di calore Q_1 ;
- 4-1: compressione adiabatica, il fluido torna alle condizioni iniziali



Motori termici

Macchine che trasformano il calore in lavoro meccanico. Operano utilizzando parte del calore ricevuto da una sorgente a temperatura più alta e cedendo la differenza a una sorgente a temperatura più bassa.

Motori alternativi endotermici

sistemi a combustione interna in cui un gas subisce delle trasformazioni termodinamiche all'interno di una camera a volume variabile, dove avviene la combustione di una sostanza combustibile

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot C}{4}$$

cilindrata
(per un cilindro)

$$\rho = 1 + \frac{V}{V_m}$$

rapporto di
compressione

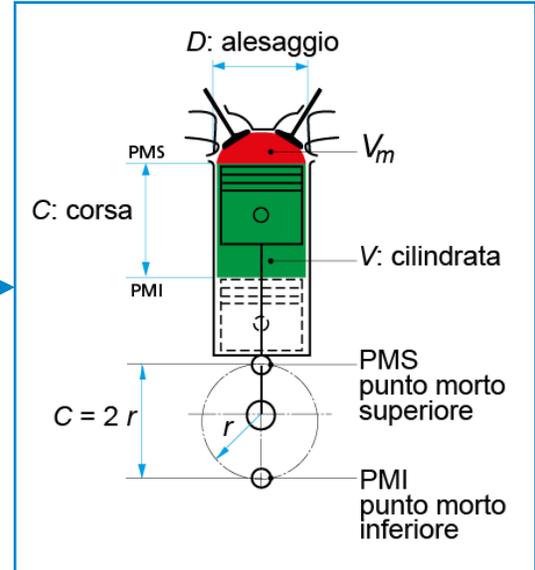
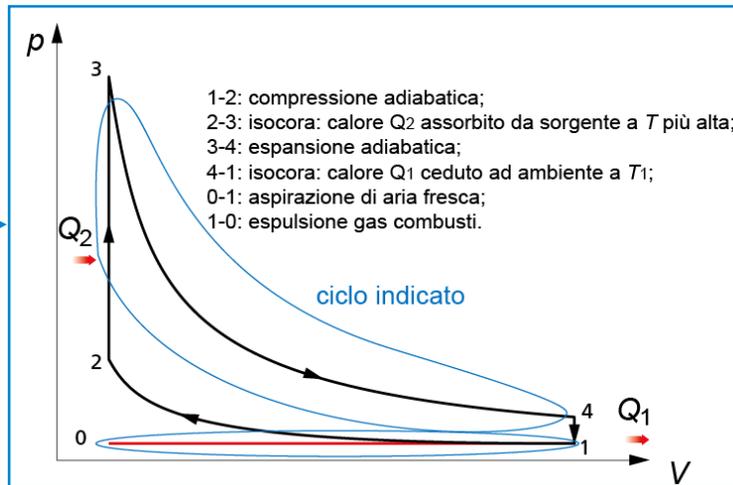
ciclo Otto a 4 tempi

ciclo termodinamico dei motori a benzina

$$\eta = 1 - \frac{1}{\rho^{\gamma-1}} \quad \text{rendimento}$$

$$\rho = \frac{V_2}{V_1}; \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

C_p e C_v calori specifici a pressione e volume costante



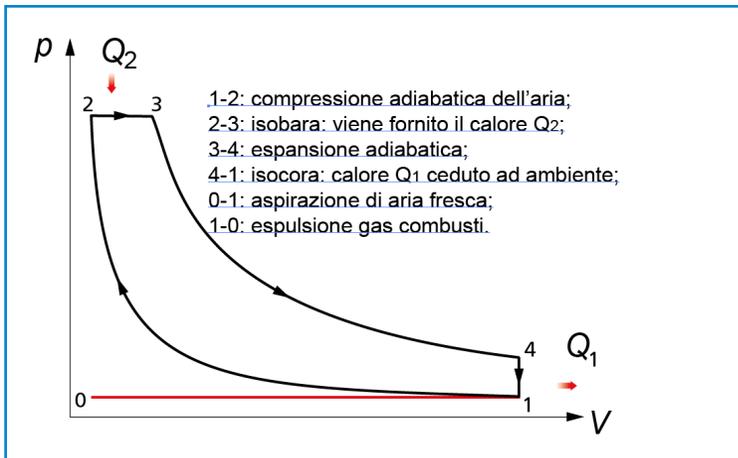
ciclo Diesel a 4 tempi

ciclo termodinamico del motore endotermico ad accensione spontanea, con alimentazione a gasolio

$$\eta = 1 - \frac{\beta^\gamma - 1}{\rho^{\gamma-1} \cdot \gamma^{\beta-1}} \quad \text{rendimento}$$

$$\rho = \frac{V_1}{V_2}; \beta = \frac{V_3}{V_2}; \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

β rapporto di combustione

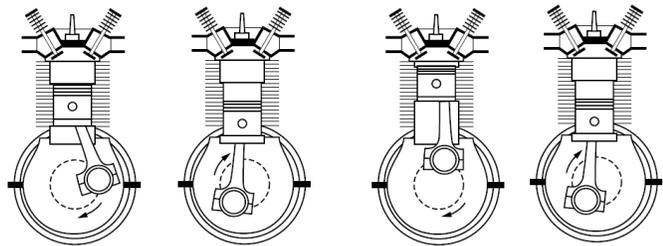


confronto Otto-Diesel

- alimentazione a benzina per l'Otto e a gasolio per il Diesel;
- impianto elettrico per l'accensione prima del PMS per l'Otto; accensione spontanea della miscela aria-gasolio nel Diesel per l'elevata compressione e l'alta temperatura;
- monoblocco del Diesel più robusto per sopportare l'elevata compressione;
- in entrambi i motori viene aspirata e compressa aria; poi un sistema di iniezione porta il gasolio o la benzina in pressione nella camera di scoppio

Struttura dei motori endotermici

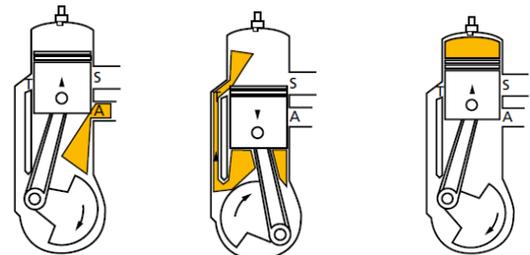
motore a quattro tempi



aspirazione compressione combustione scarico

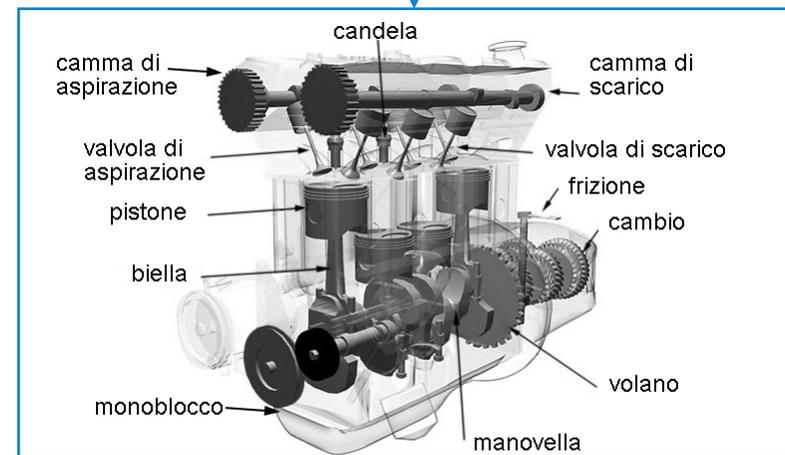
Occorrono 2 giri per completare un ciclo

motore a due tempi

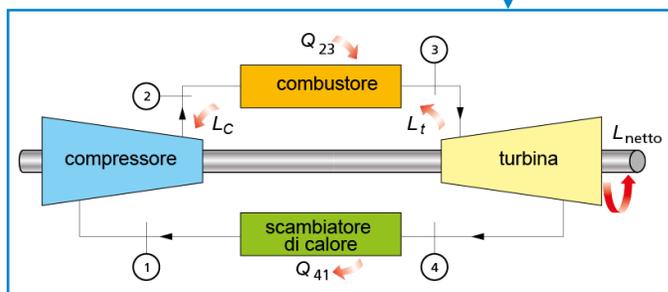


aspirazione precompressione e travaso compressione e combustione

Occorre un solo giro per completare un ciclo



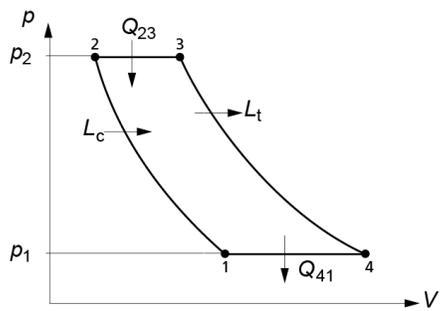
Motore a turbina a gas



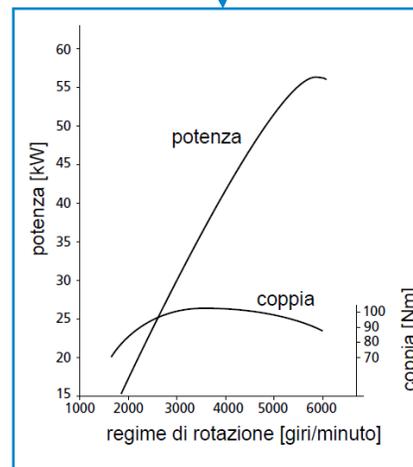
L_t = lavoro uscente (turbina):
 $Q_{23} = C_p (T_3 - T_2)$;
 L_c = lavoro entrante (compressore):
 $Q_{41} = C_p (T_4 - T_1)$;
 Q_{23} = calore entrante (combustore):
 $L_c = C_p (T_2 - T_1)$;
 Q_{41} = calore uscente (scarico):
 $L_t = C_p (T_3 - T_4)$

Ciclo di Brayton (ciclo di Joule)

1-2: compressione adiabatica da p_1 a p_2 ;
 2-3: trasformazione a pressione costante, il fluido riceve Q_{23} (combustione);
 3-4: espansione adiabatica fino a p_1 ;
 4-1: trasformazione isobara, il fluido cede Q_{41}



Coppia e potenza



coppia: $C = F' \cdot b$

potenza:

$$P = C \cdot \omega \text{ [W]} \text{ oppure } P = \frac{2 \cdot C \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ [W]}$$

C: coppia (Nm);

ω : velocità angolare (rad/s);

n: regime di rotazione (giri/min)

