

# **CICLI TERMODINAMICI**

# CICLI TERMODINAMICI

- CICLO DI CARNOT
- CICLO RANKINE
- CICLO BRAYTON
- CICLO OTTO / CICLO DIESEL

IL CICLO DI CARNOT RAPPRESENTA IL MODELLO DA PERSEGUIRE, PERCHE' A PARITA' DI TEMPERATURE ESTREME HA IL RENDIMENTO PIU' ELEVATO

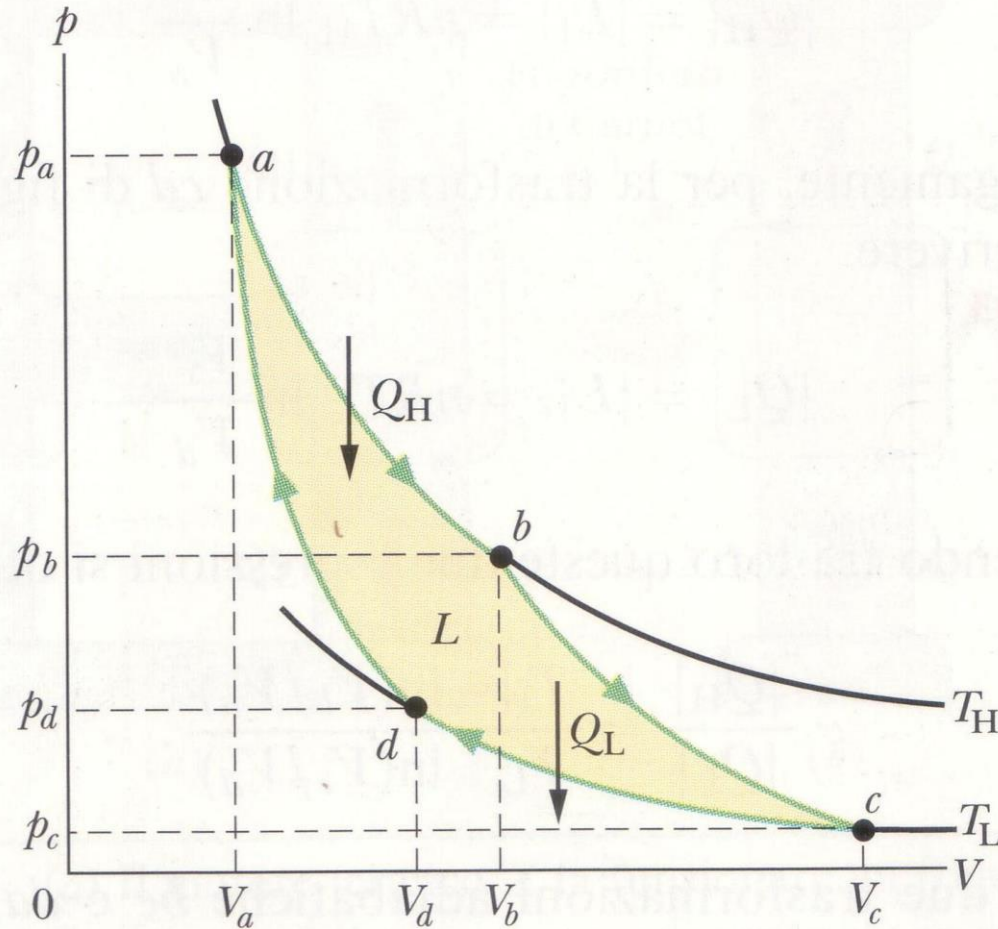
GLI ALTRI CICLI SONO LE MODALITA' CON CUI, NELLA REALTA', SI E' CERCATO DI DARE RISPOSTA A QUESTA ESIGENZA

# CICLO DI CARNOT

E' COSTITUITO, IN SUCCESSIONE CICLICA,  
DALLE SEGUENTI TRASFORMAZIONI:

- 1. ESPANSIONE ISOTERMA
  - 2. ESPANSIONE ADIABATICA
  - 3. COMPRESSIONE ISOTERMA
  - 4. COMPRESSIONE ADIABATICA
- CHE RIPORTA IL SISTEMA NELLE CONDIZIONI  
INIZIALI

# CICLO DI CARNOT



## CICLO DI CARNOT – ANALISI ENERGETICA

### 1. ESPANSIONE ISOTERMA

- ASSORBE IL CALORE  $Q_H$
- PRODUCE IL LAVORO  $L_1 = Q_H$

### 2. ESPANSIONE ADIABATICA

- $Q = 0$
- PRODUCE IL LAVORO  $L_2 = DE = n C_v (T_H - T_L)$

### 3. COMPRESSIONE ISOTERMA

- CEDE IL CALORE  $Q_L$
- ASSORBE IL LAVORO  $L_3 = Q_L$

### 4. COMPRESSIONE ADIABATICA

- $Q = 0$
- ASSORBE IL LAVORO  $L_4 = DE = n C_v (T_L - T_H) = -L_2$

CONSIDERANDO IL VALORE ASSOLUTO:

$$L = L_1 + L_2 - L_3 - L_4 = L_1 - L_3 = Q_H - Q_L$$

# RENDIMENTO DI UN CICLO DI CARNOT

$$e = L / Q_H = (Q_H - Q_L) / Q_H = 1 - Q_L / Q_H = 1 - T_L / T_H$$

L = LAVORO PRODOTTO DAL SISTEMA  
TERMODINAMICO

$Q_H$  = CALORE ASSORBITO DAL SISTEMA  
TERMODINAMICO NELLA TRASFORMAZIONE 1 A  
TEMPERATURA  $T_H$

$Q_L$  = CALORE CEDUTO DAL SISTEMA TERMODINAMICO  
NELLA TRASFORMAZIONE 3 A TEMPERATURA  $T_L$

## TEOREMA DI CARNOT

IL RENDIMENTO DI QUALUNQUE MACCHINA TERMICA CHE OPERA FRA DUE TEMPERATURE ESTREME, NON PUO' MAI ESSERE SUPERIORE A QUELLO DELLA MACCHINA DI CARNOT, OPERANTE FRA LE STESSE TEMPERATURE

FISSATE  $T_H$  E  $T_L$ , SI HA SEMPRE

$$e = L / Q_H \leq 1 - T_L / T_H$$

# TRASFORMAZIONE DI CALORE IN LAVORO

TRASFORMAZIONE ISOTERMA - PRIMO PRINCIPIO

$L = Q$  TUTTO IL CALORE SI TRASFORMA IN LAVORO

LA TRASFORMAZIONE NON PUO' PROSEGUIRE ALL'INFINITO, PER CUI PER PRODURRE LAVORO CON CONTINUITA' OCCORRE UN CICLO

CICLO TERMODINAMICO – SECONDO PRINCIPIO

$Q_L > 0 \rightarrow L < Q_H \rightarrow e = L / Q_H < 1$

TEOREMA DI CARNOT

$e = L / Q_H \leq 1 - T_L / T_H$

ESEMPIO:  $T_L = 27^\circ\text{C} = 300\text{ K}$   $T_H = 627^\circ\text{C} = 900\text{ K}$   $e \leq 0,6667$

CICLI E MACCHINE REALI

INTERVENGONO VARI TIPI DI PERDITE (ATTRITI, PERDITE DI CALORE, CADUTE DI PRESSIONE, PERDITE NELLE MACCHINE ELETTRICHE, ECC.) E IL RENDIMENTO CALA ULTERIORMENTE

NORMALMENTE  $e < 0,45$



# **PRINCIPI DI COMBUSTIONE**

## **GENERATORI DI CALORE**

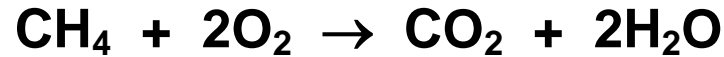
# COMBUSTIONE

REAZIONE CHIMICA NELLA QUALE UNA SOSTANZA COMBUSTIBILE SI COMBINA (REAGISCE) CON UNA SOSTANZA COMBURENTE OD OSSIDANTE (GENERALMENTE OSSIGENO) SVILUPPANDO UNA GRANDE QUANTITA' DI CALORE

IL COMBUSTIBILE E' UNA SOSTANZA CHE, IN OPPORTUNE CONDIZIONI, E' IN GRADO DI REAGIRE CON UN COMBURENTE OD OSSIDANTE SVILUPPANDO UNA NOTEVOLE QUANTITA' DI CALORE

I COMBUSTIBILI SONO COSTITUITI ESSENZIALMENTE DA CARBONIO (C) ED IDROGENO (H). NEI COMBUSTIBILI POSSONO ESSERE PRESENTI ANCHE PICCOLE PERCENTUALI DI OSSIGENO (O), ZOLFO (S) ED AZOTO (N)

## REAZIONE DI COMBUSTIONE DEL GAS METANO



1 MOLE DI CH <sub>4</sub>	= 1 x 16 kg =	16 kg
2 MOLI DI O <sub>2</sub>	= 2 x 32 kg =	64 kg
1 MOLE DI CO <sub>2</sub>	= 1 x 44 kg =	44 kg
2 MOLI DI H <sub>2</sub> O	= 2 x 18 kg =	36 kg



1 kg ARIA SECCA = 0,232 kg O<sub>2</sub> + 0,755 kg DI N<sub>2</sub> + ALTRI COMPONENTI MINORI  
PER BRUCIARE 1 kg DI CH<sub>4</sub> OCCORRONO  $4/0,232 = 17,24$  kg DI ARIA SECCA

RAPPORTO STECHIOMETRICO DI COMBUSTIONE: 17,24 kg ARIA / kg CH<sub>4</sub>

CON UN ECCESSO D'ARIA DEL 10÷20%: → 19-20 kg ARIA / kg CH<sub>4</sub>

## **POTERE CALORIFICO DI UN COMBUSTIBILE**

ENERGIA TERMICA OTTENIBILE DALLA REAZIONE CHIMICA DI COMBUSTIONE DI UNA QUANTITA' UNITARIA DI COMBUSTIBILE  
SI MISURA IN kcal/kg - kJ/kg - kWh/kg

## **POTERE CALORIFICO SUPERIORE**

POTERE CALORIFICO DI UN COMBUSTIBILE, CALCOLATO CONSIDERANDO L'ACQUA PRESENTE NEI FUMI ALLO STATO LIQUIDO

## **POTERE CALORIFICO INFERIORE**

POTERE CALORIFICO DI UN COMBUSTIBILE, CALCOLATO CONSIDERANDO L'ACQUA PRESENTE NEI FUMI ALLO STATO DI VAPORE

NORMALMENTE L'ACQUA E' PRESENTE NEI FUMI COME VAPORE, PER CUI SI CONSIDERA SEMPRE IL POTERE CALORIFICO INFERIORE

## POTERE CALORIFICO INFERIORE DI ALCUNI COMBUSTIBILI

CARBONE	6.000 kcal/kg	7,0 kWh/kg
GASOLIO	10.200 kcal/kg	11,9 kWh/kg
GASOLIO	8.400 kcal/litro	9,8 kWh/litro
NAFTA/OLIO COMB. DENSO	9.700 kcal/kg	11,3 kWh/kg
GAS METANO PURO	8.117 kcal/Sm <sup>3</sup>	9,4 kWh/Sm <sup>3</sup>
GAS NATURALE (80-100% di metano)	8.117-8.900 kcal/Sm <sup>3</sup>	9,4 – 10,3 kWh/Sm <sup>3</sup>

LO Sm<sup>3</sup> E' LA QUANTITA' DI GAS CHE OCCUPA IL VOLUME DI 1 m<sup>3</sup>, CON T=15°C E p=1,013 bar assoluti

## **GENERATORE DI CALORE**

PRODUCE, E QUINDI FORNISCE IN USCITA, ENERGIA TERMICA, OTTENUTA MEDIANTE REAZIONE CHIMICA DI COMBUSTIONE DI SOSTANZE DETTE, APPUNTO, COMBUSTIBILI

## **RENDIMENTO DI UN GENERATORE DI CALORE**

RAPPORTO FRA L'ENERGIA TERMICA PRODOTTA E QUELLA ENTRANTE  
(OPPURE FRA LA POTENZA TERMICA USCENTE E QUELLA ENTRANTE)

## **INPUT ENERGETICO DI UN GENERATORE DI CALORE**

### **ENERGIA**

E' DATA DAL PRODOTTO DELLA QUANTITA' DI COMBUSTIBILE BRUCIATA, PER IL POTERE CALORIFICO (INFERIORE) DEL COMBUSTIBILE

$$\text{kg} \times \text{kcal/kg} = \text{kcal}$$

$$\text{kg} \times \text{kWh/kg} = \text{kWh}$$

### **POTENZA**

E' DATA DAL PRODOTTO DELLA PORTATA DI COMBUSTIBILE BRUCIATA, PER IL POTERE CALORIFICO (INFERIORE) DEL COMBUSTIBILE

$$\text{kg/h} \times \text{kcal/kg} = \text{kcal/h}$$

$$\text{kg/h} \times \text{kWh/kg} = \text{kW}$$

## **OUTPUT ENERGETICO DI UN GENERATORE DI CALORE**

### **ENERGIA**

E' DATA DAL PRODOTTO DELLA MASSA DI FLUIDO PRODOTTO PER LA DIFFERENZA DI ENTALPIA SPECIFICA CONFERITA AL FLUIDO

$$\text{kg} \times \text{kcal/kg} = \text{kcal}$$

$$\text{kg} \times \text{kWh/kg} = \text{kWh}$$

### **POTENZA**

E' DATA DAL PRODOTTO DELLA PORTATA DI FLUIDO PRODOTTO, PER LA DIFFERENZA DI ENTALPIA SPECIFICA CONFERITA AL FLUIDO

$$\text{kg/h} \times \text{kcal/kg} = \text{kcal/h}$$

$$\text{kg/h} \times \text{kWh/kg} = \text{kW}$$



# **TIPOLOGIE DI GENERATORI DI CALORE**

CALDAIE AD ACQUA CALDA

CALDAIE AD ACQUA SURRISCALDATA

GENERATORI DI VAPORE

CALDAIE AD OLIO DIATERMICO