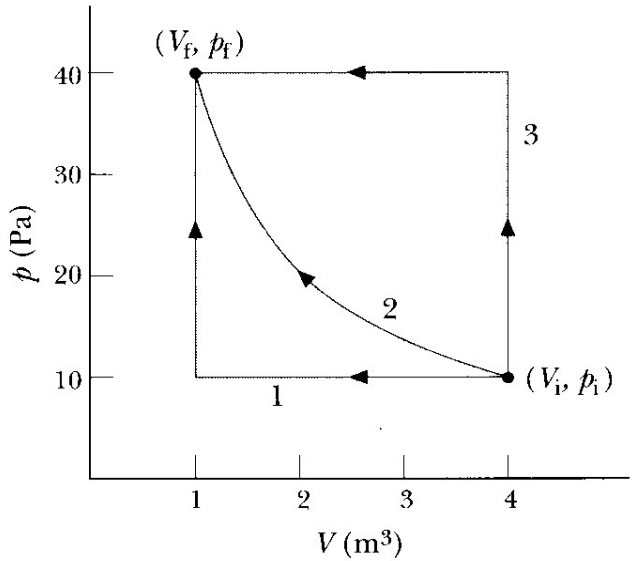
LEGGI DEI GAS / CALORI SPECIFICI

1 - TRASFORMAZIONE ISOBARA
(p = costante)

LA PRESSIONE RIMANE COSTANTE DURANTE **<u>TUTTA</u>** LA TRASFORMAZIONE

V/T = costante (m, p costanti)



$Q = m\, c_p\, (Tf - Ti)$

$DE = m\, c_v\, (Tf - Ti)$

$L = DE - Q = m\, c_v\, (Tf - Ti) - m\, c_p\, (Tf - Ti) =$

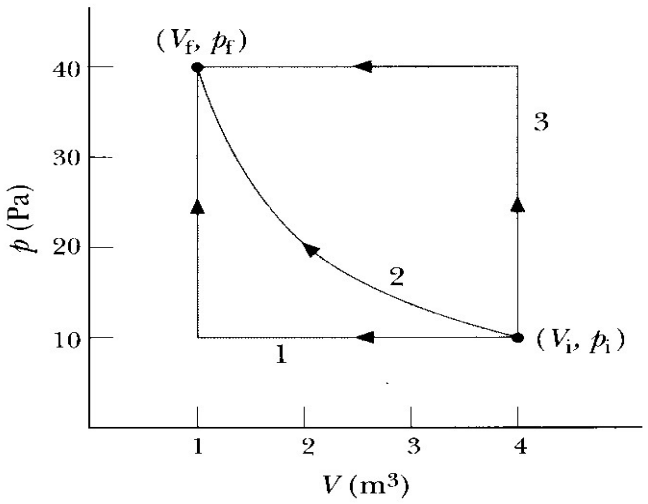
$= m\, (c_v - c_p)\, (Tf - Ti) = -\, (m/m_m)\, R\, DT$

$L = -\, p\, (Vf - Vi)$

2 - TRASFORMAZIONE ISOTERMA (T = costante)

LA TEMPERATURA RIMANE COSTANTE DURANTE **TUTTA** LA TRASFORMAZIONE

pV = costante (m, T costanti)



$DE = m\, c_v\, (T_f - T_i) = 0$

$Q + L = DE \quad \Longrightarrow \quad Q = -L$

$p = (m/m_m)\, R\, T / V$

$L = -\int p\, dV = -(m/m_m)\, R\, T \int dV/V =$

$= -(m/m_m)\, R\, T \ln (V_f/V_i)$

3 - TRASFORMAZIONE ISOCORA
(V = costante)

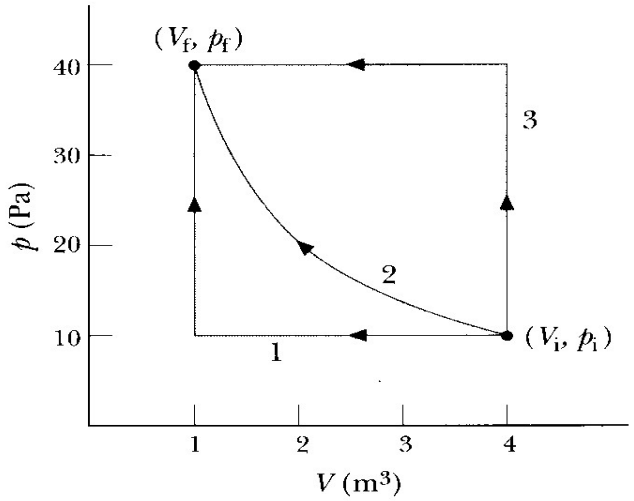
IL VOLUME RIMANE COSTANTE DURANTE **TUTTA** LA TRASFORMAZIONE

p/T = costante (m, V costanti)

L = 0 PERCHE' V = costante

Q + L = DE ===> Q = DE

Q = m c_V (Tf - Ti)



TRASFORMAZIONE ADIABATICA

AVVIENE SENZA ALCUN SCAMBIO DI CALORE DURANTE **TUTTA** LA TRASFORMAZIONE

pV^k = costante

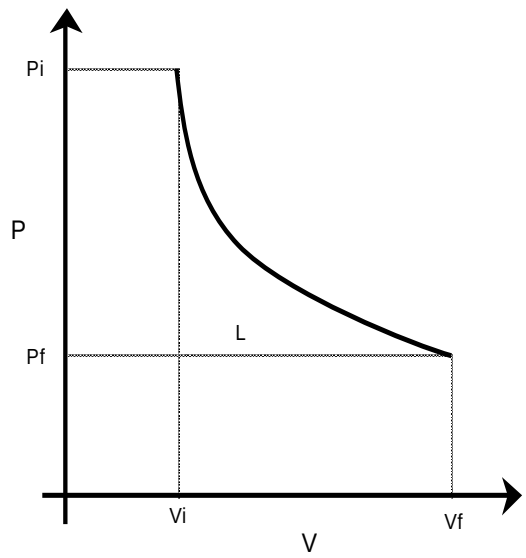
$T / p^{(k-1)/k}$ = costante

$T V^{k-1}$ = costante

Q+L = DE Q = 0 ====> DE = L

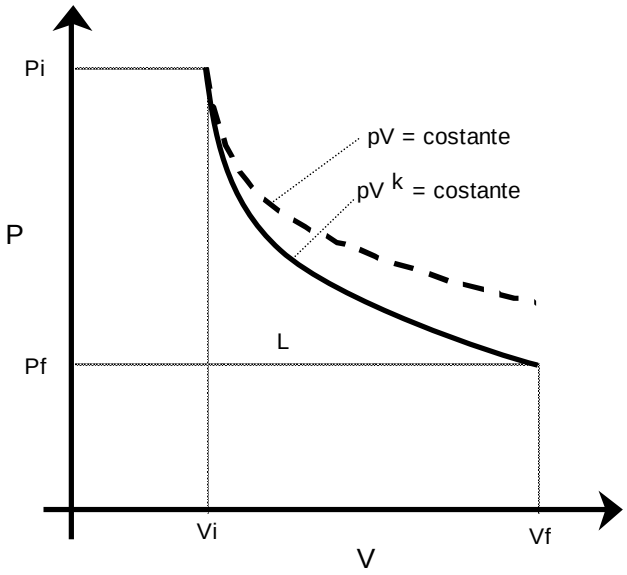
DE = n Cv (Tf - Ti)

$L = [p_i V_i / (k-1)] \times [(V_i - V_f)^{(k-1)} - 1] =$
$= (p_f V_f - p_i V_i) / (k-1)$

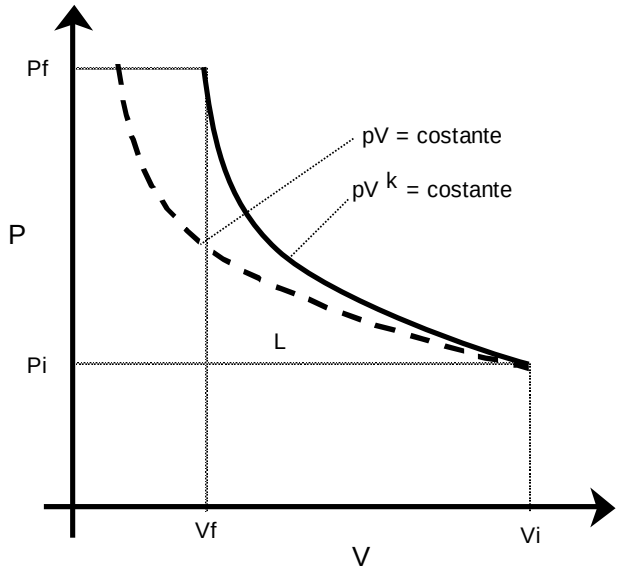


CONFRONTO TRA TRASFORMAZIONE ADIABATICA E TRASFORMAZIONE ISOTERMA

LA TRASFORMAZIONE ADIABATICA E' PIU' RIPIDA DELL'ISOTERMA



ESPANSIONE



COMPRESSIONE

EQUAZIONE DI STATO DEI GAS IDEALI

$$pV = n R T = (m / m_m) R T$$

$$p V / m = (m / m_m) R T / m$$

$$pv = (R/m_m) T$$

N = numero totale di particelle che compongono il gas

N_a = $6{,}022 \times 10^{23}$ particelle/mole = numero di Avogadro

n = $N / N_a = m / m_m$ = numero di moli

R = 8,3145 J/ mole K = 8.314,5 J/kmol K = costante universale dei gas ideali

v = V / m = volume specifico (m3/kg)

m_m = massa molare (kg/kmol)

CAPACITA' TERMICA DI UN SISTEMA

E' DATA DAL RAPPORTO FRA IL CALORE CEDUTO AD UN SISTEMA E LA SUA VARIAZIONE DI TEMPERATURA

$$C = Q / DT$$

DIPENDE DALLA SOSTANZA CHE COSTITUISCE IL SISTEMA E DALLA SUA MASSA

CAPACITA’ TERMICA MASSICA (CALORE SPECIFICO) DI UNA SOSTANZA

E' DATA DAL RAPPORTO FRA LA CAPACITA' TERMICA DI UN SISTEMA E LA SUA MASSA

$$c = C / m = Q / m\,DT$$

E' UNA CARATTERISTICA DELLA SOSTANZA COSTITUENTE IL SISTEMA

IL CALORE NECESSARIO PER PROVOCARE UNA VARIAZIONE DI TEMPERATURA DT DI UNA MASSA m DI UN SISTEMA E’ DATO DA:

$$Q = c\,m\,DT$$

CAPACITA’ TERMICA MASSICA (CALORE SPECIFICO) DEI SOLIDI E DEI LIQUIDI

E' SOSTANZIALMENTE INDIPENDENTE DALLE MODALITA' CON LE QUALI AVVIENE IL PASSAGGIO DI CALORE ED E' CIRCA COSTANTE IN AMPI INTERVALLI DI TEMPERATURA

CAPACITA' TERMICA MASSICA (CALORE SPECIFICO) DEI GAS

DIPENDE DALLE MODALITÀ CON LE QUALI AVVIENE LO SCAMBIO DI CALORE

- c_v = CALORE SPECIFICO A VOLUME COSTANTE
- c_p = CALORE SPECIFICO A PRESSIONE COSTANTE

SI MISURANO IN kJ/kg K

PER I GAS IDEALI SI UTILIZZANO ANCHE IL Cp E IL Cv RIFERITI ALLA MOLE ANZICHE' ALL'UNITA' DI MASSA

- C_v = CAPACITA' TERMICA MOLARE A VOLUME COSTANTE
- C_p = CAPACITA' TERMICA MOLARE A PRESSIONE COSTANTE

SI MISURANO IN kJ/kmol K

$Cv = c_v \times m_m$ (kJ/kg K x kg/kmol)

$Cp = c_p \times m_m$

CAPACITA' TERMICA MASSICA (CALORE SPECIFICO) DEI GAS

c_v E c_p SONO DIVERSI DA UN GAS ALL'ALTRO, PERCHE' DIPENDONO DALLA MASSA MOLARE

PER Cv E Cp ESISTE UNA FORMULAZIONE GENERALE, CHE DIPENDE SOLO DAL NUMERO DI ATOMI CHE COMPONGONO LA MOLECOLA

GAS	Cv	Cp	$k = c_p / c_v = C_p / C_v$
MONOATOMICI (esempio: ELIO He)	3/2 R	5/2 R	1,67
BIATOMICI (esempio: OSSIGENO O_2)	5/2 R	7/2 R	1,40
POLIATOMICI (es.: METANO CH_4)	3 R	4 R	1,33

PER TUTTI I GAS: $C_p = C_v + R$

CALORE SPECIFICO NELLE TRASFORMAZIONI

ADIABATICA	$Q = 0$	$c = Q / m\,DT = 0$
ISOTERMA	$DT = 0$	$c = Q / m\,DT =$ infinito
ISOCORA	$V =$ costante	$c = c_v$
ISOBARA	$p =$ costante	$c = c_p$

ENERGIA INTERNA DI UN GAS IDEALE

$E = m\, c_V\, T$

$e = E / m = c_v\, T$

$E = 3/2\ (m/m_m)\, R\, T$	gas monoatomici
$E = 5/2\ (m/m_m)\, R\, T$	gas biatomici
$E = 3\ (m/m_m)\, R\, T$	gas poliatomici

L'ENERGIA INTERNA DI UN GAS IDEALE DIPENDE SOLO DALLA SUA TEMPERATURA E NON DA PRESSIONE E VOLUME

$$DE = m\ c_v\, DT$$

$$De = c_v\, DT$$

ENTALPIA DI UN GAS IDEALE

$H = E + pV$

$H = n\,Cv\,T + n\,R\,T = n\,(Cv + R)\,T = n\,Cp\,T = m\,c_p\,T$

$h = H / m = c_p\,T = e + pv$

$DH = n\,Cp\,DT = m\,c_p\,DT$

$Dh = c_p\,DT$

COME **E**, ANCHE **H** E' FUNZIONE DI STATO

GRANDEZZE TOTALI	**GRANDEZZE SPECIFICHE**
V = VOLUME (m^3)	v = VOLUME SPECIFICO (m^3/kg)
E = ENERGIA INTERNA (J)	e = ENERGIA INTERNA SPECIFICA (J/kg)
H = ENTALPIA (J)	h = ENTALPIA SPECIFICA (J/kg)
L = LAVORO (J)	l = LAVORO PER UNITA' DI MASSA (J/kg)
Q = CALORE (J)	q = CALORE PER UNITA' DI MASSA (J/kg)

TRASFOR-MAZIONE	EQUAZIONE	LAVORO L	CALORE Q	CAL. SPEC. c	VARIAZ. E.I. DE	VAR. ENTR. DS
T = COST.	Pi Vi = Pf Vf	$- (m/m_m)$ RT ln(Vf/Vi)	- L	INFINITO	0	Q / T
P = COST.	Vi / Ti = Vf / Tf	- P (Vf - Vi)	m c_p (Tf - Ti)	c_p	m c_v (Tf - Ti)	m c_P ln(Tf/Ti)
V = COST.	Pi / Ti = Pf / Tf	0	m c_v (Tf - Ti)	c_v	Q	m c_v ln(Tf/Ti)
ADIABATICA	Pi Vi^k = Pf Vf^k	(Pf Vf - Pi Vi)/(k-1)	0	0	L	0

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

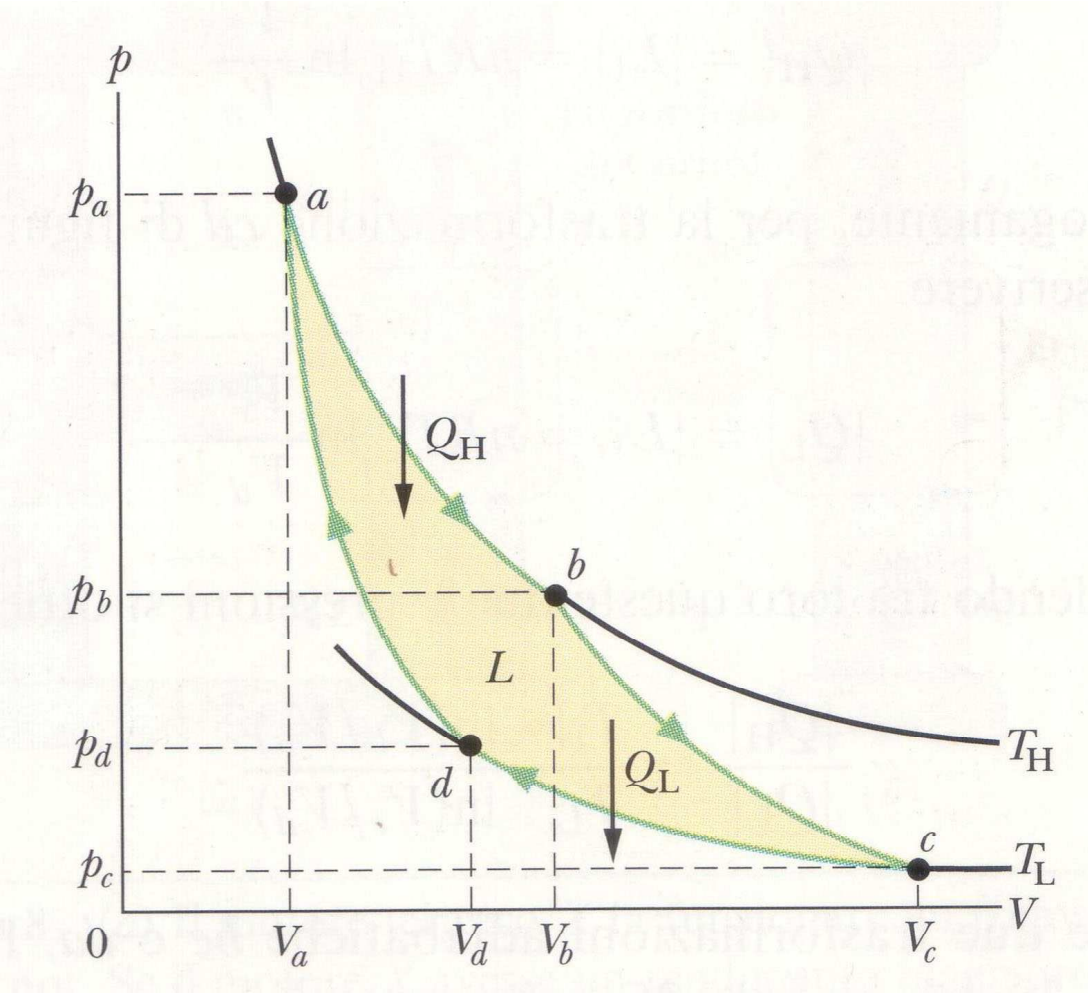
CICLO DI CARNOT

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 $L_2 = DE = n\ Cv\ (T_H – T_L)$

3. COMPRESSIONE ISOTERMA
   - CEDE IL CALORE Q_L
   - ASSORBE IL LAVORO $L_3 = Q_L$

4. COMPRESSIONE ADIABATICA
   - $Q = 0$
   - ASSORBE IL LAVORO $L_4 = DE = n\ Cv\ (T_L – T_H) = - L_2$

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

$$e = L / Q_H <= 1 - T_L / T_H$$

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

$$\mathbf{CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O}$$

1 MOLE DI CH_4 = 1 x 16 kg = 16 kg
2 MOLI DI O_2 = 2 x 32 kg = 64 kg
1 MOLE DI CO_2 = 1 x 44 kg = 44 kg
2 MOLI DI H_2O = 2 x 18 kg = 36 kg

$$\mathbf{1\ kg\ CH_4 + 4\ kg\ O_2 \rightarrow 2{,}75\ kg\ CO_2 + 2{,}25\ kg\ H_2O}$$

1 kg ARIA SECCA = 0,236 kg O_2 + 0,764 kg DI N_2
PER BRUCIARE 1 kg DI CH4 OCCORRONO 4/0,236 = 16,95 kg DI ARIA SECCA

RAPPORTO STECHIOMETRICO DI COMBUSTIONE: 16,95 kg ARIA / kg CH_4

CON UN ECCESSO D'ARIA DEL 10÷20%: ➔ 19-20 kg ARIA / kg CH_4

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
GASOLIO	10.200 kcal/kg
NAFTA/OLIO COMB. DENSO	9.700 kcal/kg
GAS METANO PURO	8.117 kcal/Sm3
GAS NATURALE (80-100% di metano)	8.117-8.900 kcal/Sm3

LO Sm3 E' LA QUANTITA' DI GAS CHE OCCUPA IL VOLUME DI 1 m3, CON T=15℃ 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

kg x kcal/kg = kcal

kg x kWh/kg = kWh

POTENZA

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

kg/h x kcal/kg = kcal/h

kg/h x kWh/kg = 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

kg x kcal/kg = kcal

kg x kWh/kg = kWh

POTENZA

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

kg/h x kcal/kg = kcal/h

kg/h x kWh/kg = kW

TIPOLOGIE DI GENERATORI DI CALORE

CALDAIE AD ACQUA CALDA

CALDAIE AD ACQUA SURRISCALDATA

GENERATORI DI VAPORE

CALDAIE AD OLIO DIATERMICO