

*Periti TERMOTECNICI*

MANUALE PER LA  
PROGETTAZIONE  
DI IMPIANTI  
TERMOMECCANICI

Formulario riepilogativo

**Edizione 1995/96**

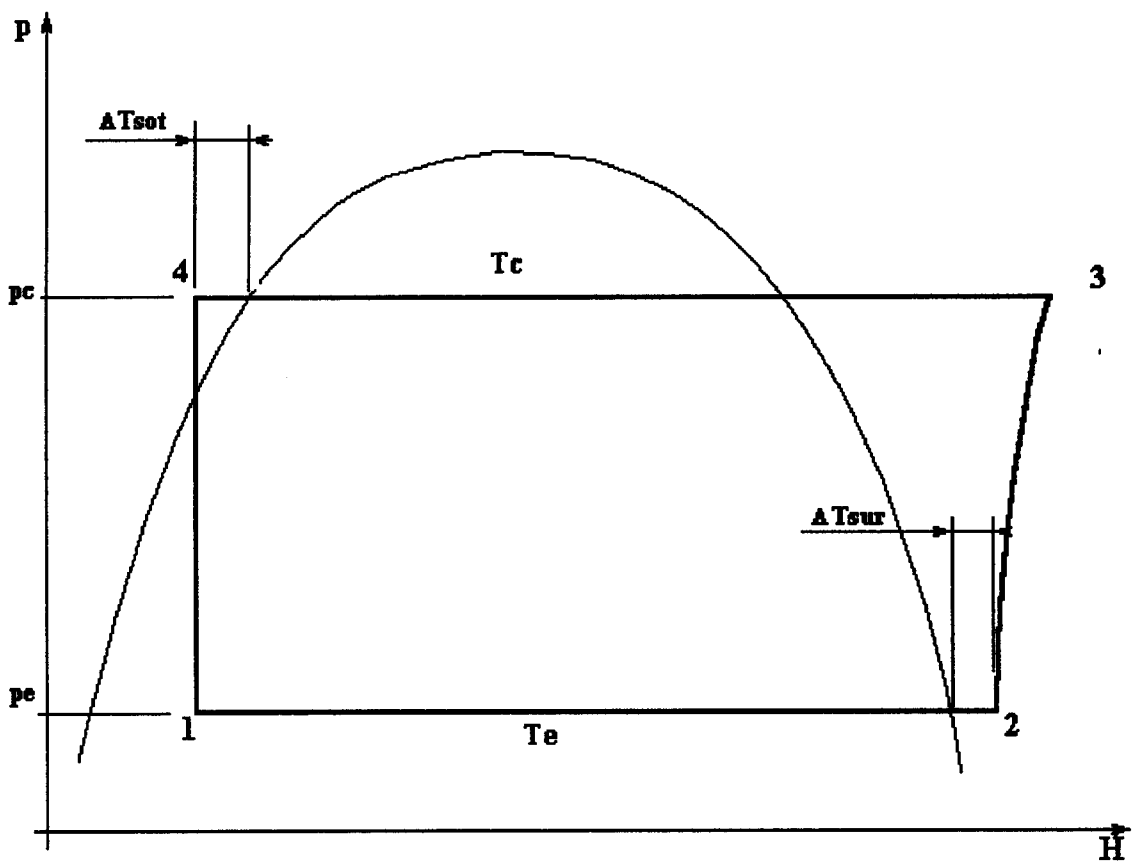
<b>FATTORI DI CONVERSIONE</b> (per il uso di questa tabella si veda l'Esempio 1.4)				
Grandezza	per convertire	→	in	moltiplicare per
		←	per convertire	dividere per
Accelerazione angolare	grado · s <sup>-2</sup>		rad · s <sup>-2</sup>	0,0175
Angolo	grado		rad	0,0175
	min		mrاد	0,291
Capacità termica massica	kcal/(kg · °C)		kJ/(kg · K)	4,186
Coefficiente di trasmissione del calore	kcal/(h · m <sup>2</sup> · °C)		W/(m <sup>2</sup> · K)	1,163
Conduttività termica	kcal/(h · m · °C)		W/(m · K)	1,163
Consumo specifico di combustibile	g/(CV · h)		g/MJ	0,3776
	g/(kW · h)		g/MJ	0,2778
Coppia	kp · m		N · m	9,81
Costante dei gas	kcal/(kg · °C)		kJ/(kg · K)	4,186
Energia, lavoro, calore	N · m		J	1
	kp · m		J	9,81
	kW · h		MJ	3,6
	CV · h		MJ	2,648
	cal		J	4,186
	kcal		kJ	4,186
	erg (g · cm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )		J	10 <sup>-7</sup>
Energia massica	cal/g		kJ/kg	4,186
	kcal/kg		kJ/kg	4,186
Entropia massica	kcal/(kg · °C)		kJ/(kg · K)	4,186
Forza	kg · m/s <sup>2</sup>		N	1
	dyne		mN	0,01
	kp		N	9,81
Frequenza (per ciclo)	cpm (ciclo/min)		Hz (Hertz)	1/60
Frequenza rotazionale	giri/minuto		1/s	1/60
Massa volumica	kg/dm <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	1000
	g/cm <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	1000
Potenza	kg · m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>		J/s oppure W	1
	CV		kW	0,735
	HP		kW	0,746
	kcal/h		W	1,163
	kp · m/s		W	9,81
Potenza per unità di area	kcal/(h · m <sup>2</sup> )		W/m <sup>2</sup>	1,163
Pressione	atm (internazionale)		kPa	101,3
	bar		kPa	100
	kp/cm <sup>2</sup>		kPa	98,1
	mm Hg (a 0 °C)		Pa	133,3
	mm H <sub>2</sub> O (a 4 °C)		Pa	9,81
	N/m <sup>2</sup>		Pa	1
Tempo	min		s	60
	h		s	3600
	giorno		ks	86,4
Velocità lineare	km/h		m/s	0,278
Velocità angolare	grado/s		rad/s	0,0175
Viscosità cinematica	centistokes		mm <sup>2</sup> /s	1
Viscosità dinamica	centipoise		mPa · s	1
Temperatura [K]	= Temperatura [°C] + 273,15 ≈ Temperatura [°C] + 273			
Temperatura [°C]	= Temperatura [K] - 273,15 ≈ Temperatura [K] - 273			

# 1 - REFRIGERAZIONE:

La refrigerazione sfrutta la capacità di un fluido di assorbire calore a bassa temperatura e successivamente cederlo ad un altro fluido a temperatura più alta.

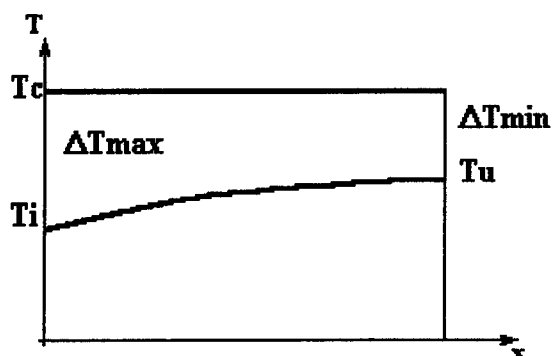
## 1.1 - DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELL'IMPIANTO:

### CICLO FRIGORIFERO:



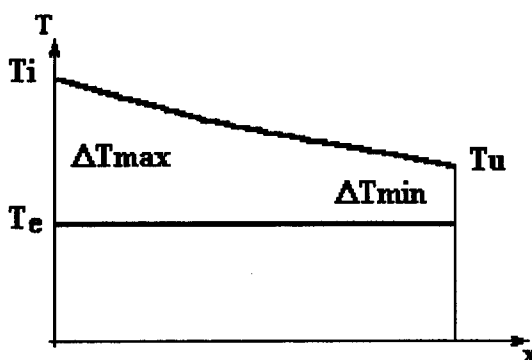
Graf 1.1

- Fase 1-2 : Evaporazione (EVAPORATORE)
- Fase 2-3 : Compressione (COMPRESSORE)
- Fase 3-4 : Condensazione (CONDENSATORE)
- Fase 4-1 : Laminazione (VALVOLA DI ESPANSIONE)

**DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE:**

Graf 1.2

- $T_c$  = temperatura di condensazione ( con  $H_2O$  raff. =  $35^\circ C$  - con ARIA raff. =  $50^\circ C$  )  
 $T_i$  = temperatura di ingresso del fluido che asporta calore (  $H_2O$  =  $25^\circ C$  - ARIA =  $35^\circ C$  )  
 $T_u$  = temperatura di uscita del fluido che asporta calore (  $H_2O$  =  $30^\circ C$  - ARIA =  $40^\circ C$  )  
 $\Delta T_{min}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in uscita (  $H_2O$  =  $5^\circ C$  - ARIA =  $10^\circ C$  )  
 $\Delta T_{max}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in ingresso (  $H_2O$  =  $10^\circ C$  - ARIA =  $15^\circ C$  )  
 $\Delta T_{sot}$  = temperatura di sottoraffreddamento all'uscita del condensatore (  $5^\circ C$  )

**DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE:**

Graf 1.3

- $T_e$  = temperatura di evaporazione ( con  $H_2O$  da raff. =  $2^\circ C$  - con ARIA da raff. =  $10^\circ C$  )  
 $T_i$  = temperatura di ingresso del fluido che cede calore (  $H_2O$  =  $12^\circ C$  - ARIA =  $25^\circ C$  )  
 $T_u$  = temperatura di uscita del fluido che cede calore (  $H_2O$  =  $7^\circ C$  - ARIA =  $20^\circ C$  )  
 $\Delta T_{min}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in uscita (  $H_2O$  =  $5^\circ C$  - ARIA =  $10^\circ C$  )  
 $\Delta T_{max}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in ingresso (  $H_2O$  =  $10^\circ C$  - ARIA =  $15^\circ C$  )  
 $\Delta T_{sur}$  = temperatura di surriscaldamento all'uscita dell'evaporatore (  $2 - 3^\circ C$  )

**DETERMINAZIONE DELLE ENTALPIE (H):**

Le entalpie 1, 2, 3 e 4 si ricavano dal grafico entalpico (Graf 3.1 e Tab 3.1/2/3 per R12), conoscendo le temperature sopra determinate e tenendo conto del surriscaldamento e del sottoraffreddamento.

**EFFETTO FRIGORIFERO UNITARIO:**

Quantità di calore asportata da 1 kg di fluido frigorifero nell'evaporatore.

$$q_0 = H_2 - H_1$$

**LAVORO DI COMPRESSIONE UNITARIO:**

Energia fornita a un kg di fluido frigorifero.

$$L_u = H_3 - H_2$$

**CALORE DI CONDENSAZIONE UNITARIO:**

Quantità di calore ceduto al condensatore di 1 kg di fluido frigorifero.

$$q_c = H_3 - H_4 = q_0 + L_u$$

**EFFICIENZA DEL CICLO:**

$$\varepsilon = \frac{q_0}{L_u} \quad \text{Con } q_0 > L_u$$

**EFFICIENZA SECONDO IL CICLO DI CARNOT:**

$$\varepsilon_c = \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad \text{Le temperature vanno espresse in } ^\circ\text{K.}$$

**RENDIMENTO DEL CICLO SECONDO CARNOT:**

$$\eta_c = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \quad \text{Con } \varepsilon_c > \varepsilon$$

**PORTATA DEL FLUIDO FRIGORIGENO:**

$$G_r = \frac{N_f}{q_0}$$

Dove  $N_f$  è la potenza frigorifera fornita dall'impianto.

$$N_f = G \times c_s \times \Delta T$$

$G$  = portata fluido da raffreddare [kg/s]

$c_s$  = calore specifico del fluido da raffreddare [W/ kg °C]

$\Delta T$  = salto termico del fluido da raffreddare [°C]

**POTENZA FRIGORIFERA:**

$$N_f = q_0 \times G_r$$

**POTENZA CHE DEVE FORNIRE IL COMPRESSORE:**

Potenza che esce dal compressore.

$$N_a = G_r \times L_u$$

**1.2 - DIMENSIONAMENTO DEL COMPRESSORE:****CILINDRATA:**

Volume generato durante un giro completo dell'albero a manovella.

$$C = \frac{\pi \times d^2}{4} \times l \times N^\circ$$

Dove:

d = diametro cilindro [ m ]

N° = numero di cilindri

l = corsa del pistone [ m ]

**VOLUME GENERATO:**

Dal compressore in un'ora.

$$V_g = C \times n^\circ \text{ giri/minuto} \times 60$$

Dove:

60 = fattore di conversione

n° = numero di giri che compie la biella [ giri / minuto ]

**VOLUME ASPIRATO:**

$$V_a = G_r \times v_2$$

Dove:

v<sub>2</sub> = volume specifico del refrigerante nel punto 2

(punto di aspirazione) [m<sup>3</sup>/kg]

**RAPPORTO DI COMPRESSIONE:**

$$\rho = \frac{p_3}{p_2}$$

Dove:

p<sub>3</sub> = pressione nel punto 3

p<sub>2</sub> = pressione nel punto 2

**SPAZIO NOCIVO:**

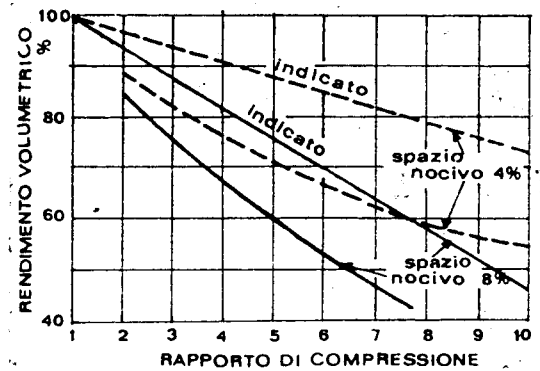
Parte di volume che non viene utilizzato nella compressione.

$$V_0 = 4 - 8 \% \text{ di } V_g$$

**RENDIMENTO VOLUMETRICO:**

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_g}$$

Avendo  $V_0$  e  $\rho$  dal grafico ( Graf 1.4) trovo  $\eta_v$ .



Graf 1.4

**CORSA DEL PISTONE:**

$l = 1 - 1.2$  del diametro del pistone ( $d$ )

**VOLUME GENERATO:**

$$V_g = \frac{V_a}{\eta_v}$$

**DIAMETRO DEL CILINDRO:**

$$d = \sqrt[3]{\frac{C \times 4}{N^\circ \times \pi}}$$

Dove:

$d$  = diametro cilindro [ m ]

$N^\circ$  = numero di cilindri

**CILINDRATA:**

$$C = \frac{V_g}{n^\circ \times 60}$$

Dove:

$n^\circ$  = numero di giri ( generalmente 1500 g / min )

### 1.3 - DIMENSIONAMENTO DEL CONDENSATORE:

#### SCelta DEL CONDENSATORE:

Determinazione del tipo di condensatore.

Condensatori Coefficienti globali di trasmissione termica: $K_c$			
Gruppo	Mezzo di condensazione	Tipo	$K_c$
			$W/m^2 \cdot K$
A calore sensibile	Aria	Circolazione naturale	da 9 a 12
		Circolazione forzata	da 24 a 30
	Acqua	Immersione	da 240 a 300
		Doppio tubo e controcorrente	da 700 a 950
		A fascio tubiero (orizzontale)	da 700 a 1 100
A calore latente	Atmosferici	A fascio tubiero (verticale)	da 800 a 1 400
		A pioggia semplice	da 240 a 300
		A pioggia e controcorrente	da 800 a 1 100
	Evaporazione forzata	Tubi lisci	da 240 a 350
		Tubi ad alette	da 120 a 180

Tab 1.1

### CONDENSATORE A FASCIO TUBIERO CON H<sub>2</sub>O NEI TUBI:

#### VELOCITA' DELL'ACQUA NEI TUBI:

$$v_{H_2O} = 1 - 2 \text{ m/s}$$

Da tabelle.



**SCELTA DEI TUBI:**

Dalla tabella riportata (Tab 1.2) si determina la scelta del tubo da adottare.

Tubi ad alette estruse — tipo D 19. 19 alette al pollice —  $p = 1,33$  —  $a = 0,30$

D mm	Designazione di × de × e (mm)	Peso* kg/m	S. est. m <sup>2</sup> /m	R S. est. S. int.	Cu/b	Métonic 10	Métonic 30	Métarstan	Métarsal
14,2	9,4 × 14 × 0,8	0,400	0,124	4	•	•			
	9,2 × 14 × 0,9	0,425		4,2	•	•			
	9 × 14 × 1	0,450		4,4	•	•	•	•	•
15,9	11,1 × 15,7 × 0,8	0,440	0,129	3,6	•	•			
	10,9 × 15,7 × 0,8	0,480		3,7	•	•			
	10,7 × 15,7 × 1	0,510		3,8	•	•	•	•	•
	10,3 × 15,7 × 1,2	0,580		4	•	•	•	•	•
19,05	14 × 18,8 × 0,9	0,600	0,158	3,55	•	•			
	13,8 × 18,8 × 1	0,630		3,6	•	•			
	13,4 × 18,8 × 1,2	0,710		3,7	•	•	•	•	•
	12,8 × 18,8 × 1,5	0,820		3,9	•	•	•	•	•
	11,6 × 18,8 × 2,1	1,030		4,3	•	•	•	•	•
22,2	17 × 22 × 1	0,800	0,185	3,4	•	•			
	16,6 × 22 × 1,2	0,900		3,5	•	•			
	16 × 22 × 1,5	1,000		3,7	•	•	•	•	•
	14,8 × 22 × 2,1	1,250		4	•	•	•	•	•
25,4	19,8 × 25,2 × 1,2	1,000	0,215	3,5	•	•			
	19,2 × 25,2 × 1,5	1,150		3,6	•	•	•	•	•
	18 × 25,2 × 2,1	1,450		3,9	•	•	•	•	•

(<sup>1</sup>) Estratto del Doc. Tréfinmétaux «Tubi ad alette METOFIN»

Tab 1.2

Generalmente 10,7 x 15,7 x 1 con:

- sezione interna di ogni tubo  $s_i = d^2 \times \pi / 4 = 0,00008992 \text{ m}^2$
- superficie per ogni metro di tubo  $S_t = 0,129 \text{ m}^2 / \text{m}$

**PORTATA D'ACQUA AL CONDENSATORE:**

$$G_{H_2O} = \frac{Q_c}{c_{s(H_2O)} \times \Delta T_{H_2O}}$$

Dove:

$$Q_c = q_c \times G_r$$

$$\Delta T_{H_2O} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**SEZIONE DI PASSAGGIO DELL'H<sub>2</sub>O:**

$$S_{H_2O} = \frac{G_{H_2O}}{v_{H_2O}}$$

**NUMERO DEI TUBI:**

$$n^{\circ}_{\text{tubi}} = \frac{S_{H_2O}}{s_i}$$

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA AL CONDENSATORE:**

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln(\Delta T_{\max} / \Delta T_{\min})} \quad \text{Dove:} \quad \Delta T = \text{da pagina 2}$$

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL CONDENSATORE:**

$$S_c = \frac{Q_c}{K_c \times \Delta T_{ml}} \quad \text{Dove:} \quad K_c = \text{coefficiente globale di trasmissione (Tab 1.1)}$$

**LUNGHEZZA DEI TUBI:**

$$l_{\text{tubi}} = \frac{S_c}{S_t \times n^{\circ}_{\text{tubi}}}$$

**1.4 - DIMENSIONAMENTO DELL'EVAPORATORE:**

**SCelta DEL'EVAPORATORE:**

Determinazione del tipo di evaporatore ( solitamente evaporatore a fascio tubiero orrizzontale )

Evaporatori Coefficienti globali di trasmissione : $K_e$		
Gruppo	Tipi	$K_e$
		$W/m^2 \cdot K$
Raffreddatori di liquidi	Ad immersione ..... { a serpentina ..... a pettine ..... intensivi .....	{ da 70 a 95 (1) da 230 a 290 (2) da 400 a 470 (2) 580 (2)
	A pioggia .....	da 930 a 1 400
	A fascio tubiero ..... { orizzontali ..... dry - ex ..... verticali .....	{ da 460 a 700 da 930 a 1 200 da 820 a 1 400
	Piastre eutettiche ..... acqua o salamoia .....	{ 35 (1) 95 (2)
Raffreddatori di gas	Circolazione d'aria naturale ..... { tubi alettati ..... piastre eutettiche .....	{ da 7 a 9 da 6 a 8
	Circolazione d'aria forzata ..... tubi alettati .....	da 16 a 24

Tab 1.3

**VELOCITA' DEL FREON NEI TUBI:**

$v_f = 5 - 6 \text{ m/s}$

Da tabelle.

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA ALL'EVAPORATORE:**

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln (\Delta T_{max} / \Delta T_{min})}$$

Dove:  
 $\Delta T =$  si ricavano da pag. 2

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DELL'EVAPORATORE:**

$$S_e = \frac{Q_e}{K_e \times \Delta T_{ml}}$$

Dove:

$Q_e = G_r \times q_e$

$K_e =$  coefficiente globale di trasmissione ( Tab 1.3 )

**1.5 - CONSUMO DI COMBUSTIBILE:****POTENZA REALMENTE ASSORBITA DAL COMPRESSORE:**

$$N_r = \frac{N_a}{\eta_c}$$

Dove:

 $N_a$  = potenza che deve fornire il compressore $\eta_c$  = rendimento meccanico del compressore ( 65 % )**CALORE ASSORBITO COME COMBUSTIBILE DAL COMPRESSORE:**

$$Q_c = \frac{N_r}{\eta_m}$$

Dove:

 $\eta_m$  = rendimento totale del motore ( 30 % ) $\eta_t$  = rendimento di trasmissione ( 90 % )**PORTATA DI COMBUSTIBILE CONSUMATO DAL MOTORE PRIMO:**

$$G_c = \frac{Q_c}{pci}$$

Dove:

pci = potere calorifico inferiore del combustibile

( Tab 10.2/4/5/6 )

**1.6 - RECUPERO DI CALORE NEI GAS DI SCARICO:****PORTATA D'ARIA COMBURENTE:**

$$G_{aria} = G_c \times \beta$$

Dove:

 $\beta$  = rapporto di combustione ( per motori diesel 20 )**PORTATA DEI FUMI:**

$$G_{fumi} = G_c + G_{aria}$$

**CALORE POTENZIALMENTE PRESENTE NEI FUMI:**

$$Q_f = G_{fumi} \times c_s(\text{fumi}) \times (T_{fumi} - T_{ambiente})$$

Dove:

 $c_s$  = calore specifico dei fumi ( 1,05 kJ/(kg x °C) ) $T_{fumi}$  = temperatura dei fumi ( 600-700 °C )**PORTATA D'ACQUA SANITARIA CON SCAMBIO AL 100%:**

$$G_{H_2O} = \frac{Q_f}{c_s(H_2O) \times \Delta T_{H_2O}}$$

Dove:

 $T_u$  = temperatura di uscita dell' $H_2O$  ( 70 °C ) $T_i$  = temperatura d'ingresso dell' $H_2O$  ( 20 °C )

## 2 - CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI:

### 2.1 - CALCOLO DEI CARICHI TERMICI DI UNA CELLA:

#### DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DELLA CELLA:

Dalla tabella 2.1, conoscendo il prodotto da conservare e come conservarlo ( fresco / congelato ), ,  
determino la temperatura di conservazione (  $T_{cel}$  ).

Caratteristiche dei prodotti conservabili in frigorifero

Prodotti	Proprietà termiche					Conservazione prodotti freschi			Congelamento e conservazione prodotti congelati				
	Punto di congelamento °C	Calore specifico kcal/kg °C		Calore latente di congelamento Kcal/Kg	Calore di respirazione Kcal/Kg 24"	Temperatura di conservazione °C	Umidità relativa %	Durata di conservazione	Temperatura ambiente per congelamento °C	Temperatura ambiente per conservazione	Umidità relativa %	Durata di conservazione	
Carni	Agnello	-1,7	0,67	0,30	47	0 + +1	85 + 90	1 + 2 sett.	-24	-18	90	6 + 8 mesi	
	Bue (grasso)	-2,2	0,60	0,35	44	0 + +1	85 + 90	1 + 5 sett.	-25	-15	90 + 95	6 + 9 mesi	
	Bue (magro)	-1,7	0,77	0,40	56	0 + +1	85 + 90	1 + 5 sett.	-25	-15	90 + 95	6 + 9 mesi	
	Maiale	-2,2	0,60	0,38	36	-1,5	85 + 90	1 + 2 sett.	-25	-18	90 + 95	4 + 6 mesi	
	Pollame	-2,8	0,79	0,42	59	0	85 + 90	1 sett.	-35	-30	90 + 95	9 + 10 mesi	
	Prosciutto	-2,8	0,68	0,38	48	0 + +2	80	1 + 6 mesi					
	Salumi freschi	-3,3	0,89	0,56	52	-1 + +2	80	1 + 6 mesi					
	Vitello	-1,7	0,71	0,39	51	0 + +1	90	1 + 3 sett.					
	Frutta	Ananas	-1,5	0,90	0,45	68	+4,5 + +7	85 + 90	2 + 4 sett.				
		Arance	-2,2	0,90	0,45	70	0 + +1	85 + 90	1 + 4 mesi				
Banane		-2,2	0,80	0,42	60	2 + 6	+14 + +16	90	1 + 2 sett.				
Ciliegie		-2,2	0,87	0,45	68	0 + +1	85 + 90	1 + 4 sett.	-25 -30	-18		1 anno	
Datteri (secchi)		-15,5	0,36	0,26	16	0 + +2	70	4 + 8 mesi		-18		1 anno	
Fragole		-1,1	0,92	0,48	72	0,6 + 0,9	0	85 + 90	1 + 5 gg.	-25 -30	-18		1 anno
Limoni		-2,2	0,92	0,46	71	0,3 + 0,8	0 + +10	85 + 90	6 + 8 sett.				
Mandarini		-2,2	0,95	0,51	70	1 + 1,5	0 + +7	85 + 90	3 + 6 sett.				
Mele		-2	0,86	0,45	67	0,1 + 0,4	-1 + +3	85 + 90	2 + 5 mesi				
Meloni		-1,4	0,97	0,49	77	0,5 + 1	0 + +4	85 + 90	1 + 4 sett.				
Pere		-1,9	0,85	0,45	67	0,18 + 0,22	0 + +1	85 + 90	1 + 6 mesi				
Pasche		-1,5	0,90	0,45	70	0,22 + 0,35	-1 + +1	85 + 90	1 + 4 sett.	-25 -30	-18		1 anno
Pompelmi		-2	0,90	0,45	70	0,20 + 0,35	0 + +10	85 + 90	4 + 6 sett.				
Prugne		-2,2	0,88	0,45	69	10 + 0,18	0	85 + 90	3 + 4 sett.	-25 -30	-18		1 anno
Uva		-3	0,86	0,44	66	+ 0,15	0 + +1	85 + 90	3 + 4 sett.				

Tab 2.1

#### DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE E DEL $K_i$ DELLA CELLA:

Dalla tabella 2.2, conoscendo la temperatura di conservazione (  $T_{cel}$  ), determino lo spessore dell'isolamento della cella. Poi, dalla tabella 2.3, conoscendo lo spessore dell'isolamento della cella determino il coefficiente di infiltrazione termica (  $K_i$  ).

Temperatura cella °C	Spessore cm
8 ÷ 20	6
3 ÷ 8	8
-5 ÷ 3	10 ÷ 12
-15 ÷ -5	15
-20 ÷ -15	18
-30 ÷ -20	20
-40 ÷ -30	24

Spessore di polistirolo espanso con densità 25 ÷ 30 kg/m<sup>3</sup> consigliato per l'isolamento di celle frigorifere in climi temperati.

Tab 2.2

Spessore cm	kcal/m <sup>2</sup> × °C nelle 24 h
10	7,8
12	6,7
15	5,5
18	4,7
20	4,3
24	3,5

Coefficiente di infiltrazione per pareti, soffitti e pavimenti isolati con polistirolo espanso di densità compresa tra 25 e 30 kg/m<sup>3</sup>.

Tab 2.3

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>1</sub>:**

Dovuto all'infiltrazione di calore attraverso pareti, soffitto e pavimento.

$$Q_1 = K_i \times S \times (T_{est} - T_{cel})$$

Dove:

$K_i$  = coefficiente di infiltrazione ( Tab 2.3 )

$S$  = superficie interna della cella [ m<sup>2</sup> ]

$T_{est}$  = temperatura esterna di progetto ( 35 °C )

$T_{cel}$  = temperatura interna della cella [ °C ]

**MASSA DI PRODOTTO CONTENUTO NELLA CELLA:**

La densità di stivaggio tiene conto del fatto che la cella ha bisogno degli spazi vuoti per poter compiere manovre con mezzi di trasporto ( muletti o persone ).

$$m_{tot} = V \times \rho$$

Dove:

$\rho$  = densità di stivaggio ( Tab 2.4 )

$V$  = volume interno della cella

$m_{tot}$  = massa totale stivata nella cella

$$m_g = V \times \rho \times 10\%$$

$m_g$  = massa giornalmente stivata nella cella

10% = fattore che tiene conto del ricambio giornaliero della merce

PRODOTTO	DENSITA'
Surgelati	300 kg/m <sup>3</sup>
Gelati	125 kg/m <sup>3</sup>
Refrigerati freschi	160 kg/m <sup>3</sup>
Polivalenti	200 - 250 kg/m <sup>3</sup>

Tab 2.4

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>2</sub>:**

Necessario per raffreddare i prodotti introdotti giornalmente nella cella.

$$Q_2 = m_g \times c_s \times (T_{est} - T_{cel})$$

Dove:

$c_s$  = calore specifico prima del congelamento ( Tab 2.1 )

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>3</sub>:**

Calore di respirazione dei prodotti ortofrutticoli freschi.

$$Q_3 = m_{tot} \times c_r$$

Dove:

$c_r$  = calore di respirazione degli alimenti ( Tab 2.1 )

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>4</sub>:**

Calore dovuto all'infiltrazione di aria esterna a causa dell'apertura delle porte.

$$Q_4 = f_s \times V$$

Dove:

$f_s$  = fattore si servizio ( Tab 2.5 )

$V$  = volume interno della cella [ m<sup>3</sup> ]

Cella frigorifera Volume (m <sup>3</sup> )	Differenza tra le temperature di progetto all'esterno ed all'interno della cella °C						
	30	35	40	45	50	55	60
10	650	750	870	970	1100	1200	1300
15	570	650	750	850	950	1050	1150
20	520	600	700	780	870	950	1050
30	440	510	600	660	730	800	880
50	350	410	470	530	580	640	700
70	290	340	390	430	480	530	580
100	240	280	320	360	400	440	480
150	190	220	250	280	320	350	380
200	160	185	210	240	270	290	320
300	125	145	165	185	210	230	250
500	105	120	140	160	175	190	210
700	95	110	125	140	160	175	190
1000	90	105	120	135	150	165	180

Fattore di servizio espresso in kcal/m<sup>3</sup> nelle 24 h.

Tab 2.5

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>5</sub>:**

Carico dovuto dai motori di ventilazione degli aereoevaporatori.

$$Q_5 = N_d \times 24 \times 0,86$$

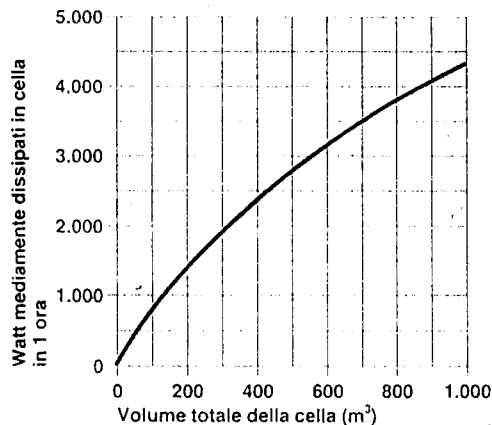
Dove:

$N_d$  = potenza dissipata dai ventilatori ( Graf 2.1 ) [W/h]

24 = per il calcolo giornaliero [ h / 24h ]

0,86 = fattore di conversione [ kcal / ( h x W ) ]

Se la cella è equipaggiata di evaporatore statico, Q<sub>5</sub> non viene considerato.



Graf 2.1

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>6</sub>:**

Carico dovuto a fattori vari, quali: illuminazione, presenza di persone, motori, ecc...

$$Q_6 = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times 10\%$$

Dove:

10% = percentuale approssimativa di maggiorazione

**CARICO TERMICO TOTALE Q<sub>tot</sub>:**

Sommatoria di tutti i sei carichi in kcal/24h.

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

**CARICO TERMICO ORARIO q:**

Carico orario che tiene conto delle pause dovute allo sbrinamento in kcal/h.

$$q = Q_{tot} / 20$$

Dove:

20 = valore di cui è stato sottratto il tempo necessario per lo sbrinamento ( uno ogni 4 ore )

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL CONDENSATORE:**

$$S_e = \frac{Q_e}{K_e \times (T_{cel} - T_e)}$$

Dove:

$$Q_e = G_r \times q_e$$

K<sub>e</sub> = coefficiente globale di trasmissione ( Tab 1.3 )

**POTENZA NOMINALE DELL'EVAPORATORE:**

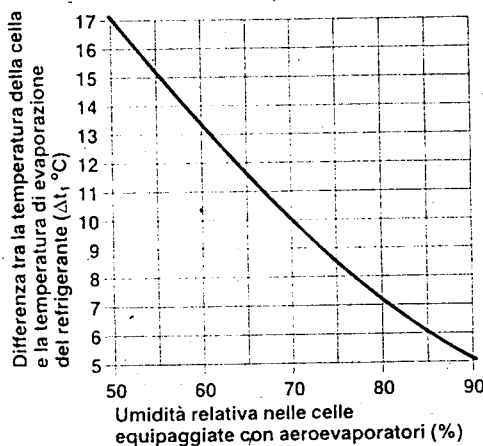
$$N_n = q \times \frac{\Delta T_{nom}}{\Delta T_{eff}} \times \frac{1}{F.B.}$$

Dove:

ΔT<sub>nom</sub> = differenza di temperatura data dal costruttore ( solitamente 10 °C )

F.B. = fattore di brina ( Tab 2.6 )

ΔT<sub>eff</sub> = differenza di temperatura effettiva ( T<sub>cel</sub> - T<sub>e</sub> ) ( Graf 2.2 )



Graf 2.2

**FATTORE DI CORREZIONE DELLA CAPACITÀ**

Intervallo tra due sbrinatori successivi (h)  
 Intervalle entre deux dégivrages successifs (h)  
 Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abtauperioden (h)  
 Interval between two successive defrost cycles (h)

	2	4	6	8	10
5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
0	0,97	0,93	0,86	0,77	0,65
-15	0,88	0,83	0,79	0,74	0,70
-25	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76

Tab 2.6



## **2.2 - CALCOLO DI UN TUNNEL DI SURGELAZIONE:**

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>1</sub>:**

Dovuto all'infiltrazione di calore attraverso pareti, soffitto e pavimento del tunnel.

$$Q_1 = K_i \times S \times (T_{est} - T_{tun})$$

Dove:

$K_i$  = coefficiente di infiltrazione ( Tab 2.3 )

$S$  = superficie interna della cella

$T_{est}$  = temperatura esterna di progetto ( 30 °C )

$T_{tun}$  = temperatura interna media del tunnel

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>2</sub>':**

Necessario per raffreddare il prodotto dalla temperatura ambiente alla temperatura di congelamento.

$$Q_{2'} = G_g \times c_{sp} \times (T_{ip} - T_{con})$$

Dove:

$c_{sp}$  = calore specifico prima del congelamento ( Tab 2.1 )

$G_g$  = portata prodotto da surgelare giornaliera [ kg/gg ]

$T_{ip}$  = temperatura ingresso prodotto ( 30 °C )

$T_{con}$  = temperatura di congelamento prodotto ( Tab 2.1 )

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>2</sub>'':**

Necessario per asportare dal prodotto il calore latente di congelamento.

$$Q_{2''} = G_g \times c_{lc}$$

Dove:

$c_{lc}$  = calore latente di congelamento ( Tab 2.1 )

$G_g$  = portata prodotto da surgelare giornaliera [ kg/gg ]

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>2</sub>''':**

Necessario per raffreddare il prodotto dalla temperatura di congelamento alla temperatura di conservazione.

$$Q_{2'''} = G_g \times c_{sd} \times (T_{con} - T_{fin})$$

Dove:

$c_{sd}$  = calore specifico dopo il congelamento ( Tab 2.1 )

$G_g$  = portata prodotto da surgelare giornaliera [ kg/gg ]

$T_{fin}$  = temperatura di conservazione prodotto ( Tab 2.1 )

$T_{con}$  = temperatura di congelamento prodotto ( Tab 2.1 )

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>3</sub>:**

NO Calore di respirazione che non viene considerato perchè la fase si svolge nel giro di poco tempo.

### **CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>4</sub>:**

NO Calore dovuto all'infiltrazione di aria esterna che non viene considerato perchè la fase si svolge a porte chiuse.

**CALCOLO DEL CARICO TERMICO Q<sub>5</sub> E Q<sub>6</sub>:**

Carico dovuto ai motori di ventilazione degli aereoevaporatori e a vari altri motori.

Si calcola che la somma dei calori precedenti rappresenti il 75% del calore totale.  
Quindi Q<sub>5</sub> e Q<sub>6</sub> sono il 25% di Q<sub>tot</sub>.

**CARICO TERMICO TOTALE Q<sub>tot</sub>:**

Sommatoria di tutti i sei carichi in kcal/24h.

$$Q_{tot} = ( Q_1 + Q_2 + Q_{2'} + Q_{2''} + Q_{2'''} + Q_3 ) / 0,75$$

**CARICO TERMICO ORARIO q:**

Carico termico orario in kcal/h.

$$q = Q_{tot} / 24$$

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL CONDENSATORE:**

$$S_e = \frac{Q_e}{K_e \times ( T_{cel} - T_e )}$$

Dove:

$$Q_e = G_r \times q_e$$

K<sub>e</sub> = coefficiente globale di trasmissione ( Tab 1.3 )

**POTENZA NOMINALE DELL'EVAPORATORE:**

$$N_n = q \times \frac{\Delta T_{nom}}{\Delta T_{eff}} \times \frac{1}{F.B.}$$

Dove:

ΔT<sub>nom</sub> = differenza di temperatura data dal costruttore  
( solitamente 10 °C )

F.B. = fattore di brina ( Tab 2.5 )

ΔT<sub>eff</sub> = differenza di temperatura effettiva ( T<sub>cel</sub> - T<sub>e</sub> )  
( Graf 2.3 )

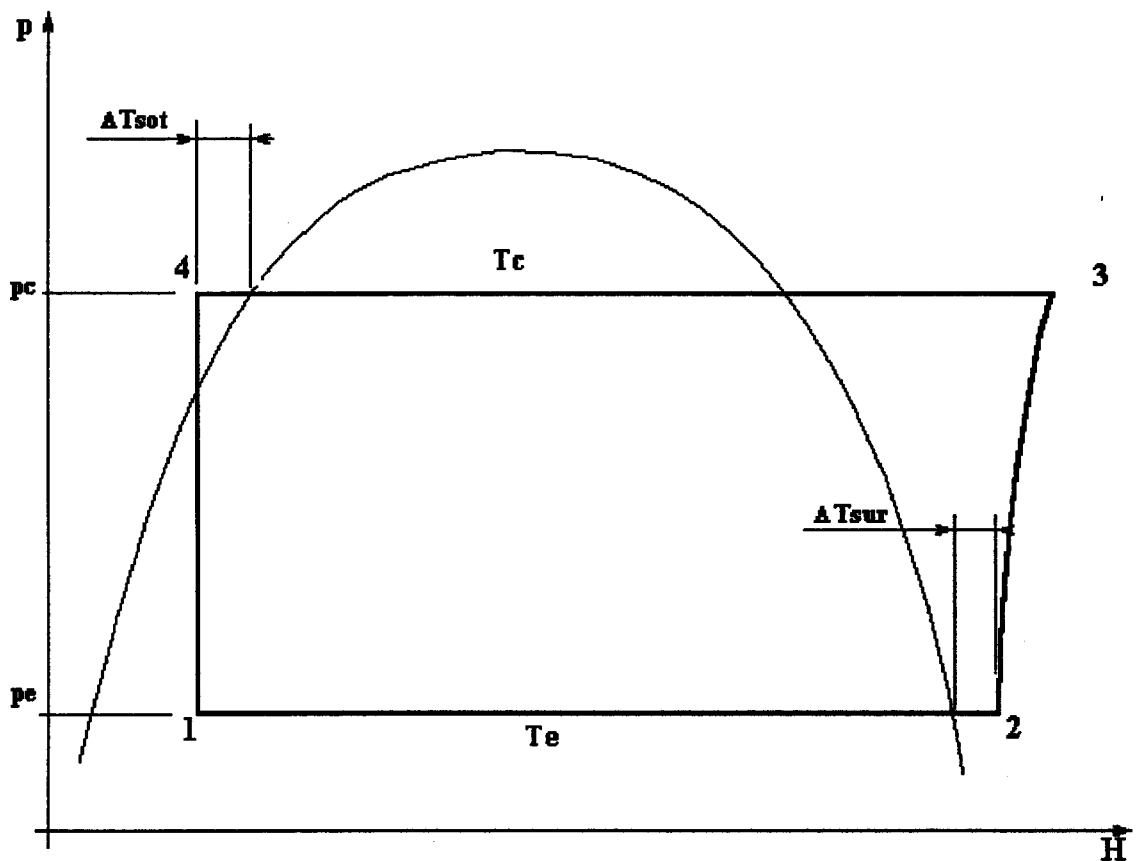
### 3 - POMPE DI CALORE:

Le pompe di calore sono usate per la generazione di calore. Esse funzionano secondo il ciclo frigorifero e sfruttano il calore che il fluido frigorifero, evolvente nel ciclo, asporta ad un fluido freddo e successivamente cede ad un fluido caldo passante per il condensatore. Se si utilizza acqua come fluido caldo temovettore, i valori di temperatura sono:

- temperatura dell'acqua 45°C per pannelli radianti con un salto termico di 5 °C;
- temperatura dell'acqua 50-60°C per ventilconvettori con un salto termico di 5 °C;
- temperatura dell'acqua 80°C per termosifoni con un salto termico di 10 °C.

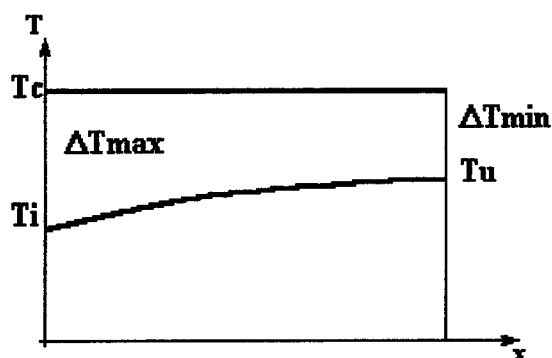
#### 3.1 - DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELL'IMPIANTO:

##### CICLO FRIGORIFERO:



Graf 3.1

- Fase 1-2 : Evaporazione (EVAPORATORE)
- Fase 2-3 : Compressione (COMPRESSORE)
- Fase 3-4 : Condensazione (CONDENSATORE)
- Fase 4-1 : Laminazione (VALVOLA DI ESPANSIONE)

**DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE:**

Graf 3.2

Nel caso si produca acqua per pannelli radianti asportando calore all'aria esterna ( $T_{\text{acqua}} = 45^{\circ}\text{C}$ ):

$T_c$  = temperatura di condensazione ( $50^{\circ}\text{C}$ )

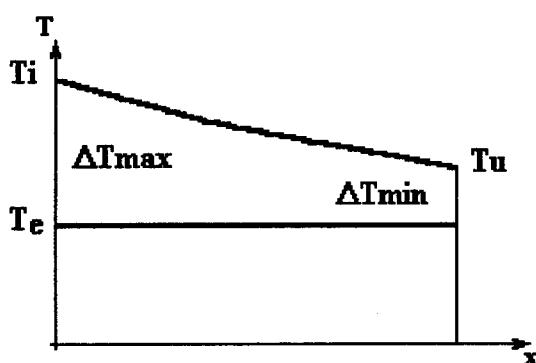
$T_i$  = temperatura di ingresso del fluido che asporta calore ( $40^{\circ}\text{C}$ )

$T_u$  = temperatura di uscita del fluido che asporta calore ( $45^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T_{\text{min}}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in uscita ( $5^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T_{\text{max}}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in ingresso ( $10^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T_{\text{sot}}$  = temperatura di sottoraffreddamento all'uscita del condensatore ( $5^{\circ}\text{C}$ )

**DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE:**

Graf 3.3

Nel caso di produrre acqua per pannelli radianti asportando calore all'aria esterna:

$T_e$  = temperatura di evaporazione ( con ARIA =  $-10^{\circ}\text{C}$  - con  $\text{H}_2\text{O}$  =  $0^{\circ}\text{C}$  )

$T_i$  = temperatura di ingresso del fluido che cede calore ( estate =  $35-25^{\circ}\text{C}$  inverno =  $5^{\circ}\text{C}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  =  $10^{\circ}\text{C}$  )

$T_u$  = temperatura di uscita del fluido che cede calore ( estate =  $30-20^{\circ}\text{C}$  inverno =  $0^{\circ}\text{C}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  =  $5^{\circ}\text{C}$  )

$\Delta T_{\text{min}}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in uscita ( con ARIA =  $10^{\circ}\text{C}$  - con  $\text{H}_2\text{O}$  =  $5^{\circ}\text{C}$  )

$\Delta T_{\text{max}}$  = differenza di temperatura tra freon e fluido in ingresso (con ARIA =  $15^{\circ}\text{C}$  - con  $\text{H}_2\text{O}$  =  $10^{\circ}\text{C}$  )

$\Delta T_{\text{sur}}$  = temperatura di surriscaldamento all'uscita dell'evaporatore ( 2 - 3  $^{\circ}\text{C}$  )

**DETERMINAZIONE DELLE ENTALPIE (H):**

Le entalpie 1, 2, 3 e 4 si ricavano dal grafico entalpico (Graf 3.1 e TAb 3.1/2/3 per R12), conoscendo le temperature sopra determinate e tenendo conto del surriscaldamento e del sottoraffreddamento.

**EFFETTO FRIGORIFERO UNITARIO:**

Quantità di calore asportata da 1 kg di fluido frigorifero nell'evaporatore.

$$q_0 = H_2 - H_1$$

**LAVORO DI COMPRESSIONE UNITARIO:**

Energia fornita a un kg di fluido frigorifero.

$$L_u = H_3 - H_2$$

**CALORE DI CONDENSAZIONE UNITARIO:**

Quantità di calore ceduto al condensatore di 1 kg di fluido frigorifero.

$$q_c = H_3 - H_4 = q_0 + L_u$$

**EFFICIENZA DEL CICLO:**

$$\varepsilon = \frac{q_0}{L_u} \quad \text{Con } q_0 > L_u$$

**RENDIMENTO DI UNA POMPA DI CALORE:**

Per ottenere un vantaggio nell'utilizzo della P.D.C. il COP deve essere maggiore di 3.

$$\text{COP} = \frac{q_c}{L_u} = \varepsilon + 1$$

**PORTATA DEL FLUIDO FRIGORIFERO:**

$$G_r = \frac{P_a}{L_u} \quad \text{Dove: } P_a = \text{potenza fornita al compressore.}$$

**POTENZA DI CONDENSAZIONE:**

$$P_c = G_r \times q_c$$

**3.2 - DIMENSIONAMENTO DEL COMPRESSORE:**

Per il dimensionamento del compressore fare riferimento al paragrafo 1.2 pag 6.

**3.3 - DIMENSIONAMENTO DEL CONDENSATORE:**

Per il dimensionamento del condensatore fare riferimento al paragrafo 1.3 pag 8.

**3.4 - DIMENSIONAMENTO DELL'EVAPORATORE:**

Per il dimensionamento dell'evaporatore fare riferimento al paragrafo 1.4 pag 11.

**3.5 - CONSUMO DI COMBUSTIBILE:**

Per il consumo di combustibile fare riferimento al paragrafo 1.5 pag 12.

**3.6 - RECUPERO DI CALORE NEI GAS DI SCARICO:**

Per il recupero di calore nei gas di scarico fare riferimento al paragrafo 1.6 pag 12.

Proprietà termodinamiche del Freon 12 liquido compresso (diclorodifluorometano):  
liquido saturo - vapore saturo in funzione della temperatura  
di saturazione

Temp. [°C]	Pressione assoluta $p$ [MPa]	Volume massico [dm <sup>3</sup> /kg]		Entalpia [kJ/kg]			Entropia [kJ/(kg·K)]	
		Liquido saturo $v_f$	Vapore saturo $v_s$	Liquido saturo $h_f$	Vaporizz. $h_{fs}$	Vapore saturo $h_s$	Liquido saturo $s_f$	Vapore saturo $s_s$
-90	0,00284	0,60779	4415,55	120,665	189,746	310,410	0,64942	1,68534
-85	0,00424	0,61230	3037,32	124,944	187,734	312,678	0,67247	1,67017
-80	0,00617	0,61694	2138,35	129,228	185,737	314,965	0,69493	1,65647
-75	0,00879	0,62171	1537,65	133,519	183,748	317,268	0,71685	1,64410
-70	0,01227	0,62662	1127,28	137,821	181,762	319,583	0,73828	1,63293
-65	0,01680	0,63167	841,166	142,135	179,771	321,907	0,75925	1,62284
-60	0,02262	0,63689	637,911	146,463	177,772	324,236	0,77977	1,61373
-55	0,02998	0,64226	491,000	150,808	175,759	326,567	0,79990	1,60552
-50	0,03915	0,64782	383,105	155,169	173,728	328,897	0,81964	1,59810
-45	0,05044	0,65355	302,683	159,549	171,674	331,223	0,83901	1,59142
-40	0,06417	0,65949	241,910	163,948	169,593	333,541	0,85805	1,58539
-35	0,08071	0,66563	195,398	168,369	167,480	335,849	0,87676	1,57996
-30	0,10041	0,67200	159,375	172,810	165,333	338,143	0,89516	1,57507
-25	0,12368	0,67860	131,166	177,275	163,147	340,422	0,91327	1,57068
-20	0,15093	0,68547	108,847	181,764	160,918	342,682	0,93110	1,56672
-15	0,18260	0,69261	91,0182	186,279	158,641	344,920	0,94868	1,56317
-10	0,21912	0,70004	76,6464	190,822	156,312	347,134	0,96601	1,55997
-5	0,26096	0,70780	64,9629	195,395	153,926	349,321	0,98311	1,55710
0	0,30861	0,71590	55,3892	200,000	151,477	351,477	1,00000	1,55452
5	0,36255	0,72438	47,4853	204,642	148,959	353,600	1,01670	1,55220
10	0,42330	0,73327	40,9137	209,323	146,363	355,686	1,03322	1,55010
15	0,49137	0,74262	35,4133	214,048	143,683	357,730	1,04958	1,54819
20	0,56729	0,75246	30,7802	218,821	140,907	359,729	1,06581	1,54645
25	0,65162	0,76286	26,8542	223,650	138,026	361,676	1,08193	1,54484
30	0,74490	0,77386	23,5082	228,540	135,026	363,566	1,09795	1,54334
35	0,84772	0,78556	20,6408	233,498	131,894	365,392	1,11391	1,54191
40	0,96065	0,79802	18,1706	238,535	128,611	367,146	1,12984	1,54051
45	1,0843	0,81137	16,0316	243,659	125,158	368,818	1,14575	1,53913
50	1,2193	0,82573	14,1701	248,884	121,512	370,396	1,16170	1,53770
55	1,3663	0,84125	12,5421	254,222	117,644	371,865	1,17772	1,53620
60	1,5259	0,85814	11,1113	259,690	113,519	373,210	1,19384	1,53457
65	1,6988	0,87667	9,84740	265,309	109,097	374,406	1,21013	1,53275
70	1,8858	0,89716	8,72502	271,102	104,325	375,427	1,22665	1,53066
75	2,0875	0,92009	7,72258	277,100	99,134	376,234	1,24347	1,52821
80	2,3046	0,94612	6,82143	283,341	93,436	376,777	1,26069	1,52526
85	2,5380	0,97621	6,00494	289,879	87,106	376,985	1,27845	1,52164
90	2,7885	1,01190	5,25759	296,788	79,960	376,748	1,29691	1,51708
95	3,0569	1,05581	4,56341	304,181	71,706	375,887	1,31637	1,51113
100	3,3441	1,11311	3,90280	312,261	61,809	374,070	1,33732	1,50296
105	3,6509	1,19670	3,2416	321,467	49,048	370,515	1,36089	1,49058
110	4,0180	1,36431	2,46186	333,496	28,445	361,941	1,39138	1,46562

Tab 3.1

Tabella A.5

**Proprietà termodinamiche del Freon-12  
(diclorodifluorometano): vapore surriscaldato  
(Temperatura di saturazione tra parentesi)**

Temp. [°C]	v [dm³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	v [dm³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	v [dm³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]
	0,05 MPa (– 45,18 °C)			0,10 MPa (– 30,10 °C)			0,15 MPa (– 20,17 °C)		
-20,00	342,39	345,47	1,6514	168,24	344,50	1,6011	110,13	343,50	1,5705
-10,00	356,64	351,16	1,6735	175,62	350,27	1,6235	115,24	349,37	1,5932
0,00	370,82	356,95	1,6951	182,95	356,14	1,6454	120,28	355,31	1,6153
10,00	384,96	362,84	1,7163	190,22	362,09	1,6668	125,27	361,34	1,6370
20,00	399,05	368,82	1,7370	197,44	368,14	1,6877	130,22	367,44	1,6582
30,00	413,11	374,90	1,7574	204,63	374,27	1,7083	135,12	373,63	1,6790
40,00	427,14	381,08	1,7775	211,79	380,49	1,7285	139,99	379,90	1,6993
50,00	441,13	387,34	1,7971	218,91	386,79	1,7483	144,82	386,24	1,7192
60,00	455,11	393,68	1,8165	226,01	393,18	1,7678	149,64	392,67	1,7388
70,00	469,06	400,12	1,8355	233,09	399,64	1,7869	154,43	399,17	1,7580
80,00	483,00	406,63	1,8542	240,15	406,19	1,8057	159,20	405,74	1,7769
90,00	496,91	413,22	1,8726	247,20	412,80	1,8242	163,95	412,39	1,7955
	0,20 MPa (– 13,94 °C)			0,25 MPa (– 6,26 °C)			0,30 MPa (– 1,90 °C)		
0,00	88,92	354,47	1,5934	70,08	353,60	1,5758	57,49	352,70	1,5609
10,00	92,78	360,56	1,6153	73,26	359,77	1,5980	60,23	358,96	1,5834
20,00	96,58	366,73	1,6367	76,39	366,01	1,6196	62,91	365,27	1,6053
30,00	100,35	372,98	1,6577	79,47	372,31	1,6408	65,54	371,64	1,6266
40,00	104,07	379,29	1,6782	82,52	378,68	1,6614	68,14	378,06	1,6475
50,00	107,77	385,68	1,6982	85,53	385,12	1,6817	70,70	384,55	1,6679
60,00	111,44	392,15	1,7179	88,52	391,62	1,7015	73,23	391,09	1,6878
70,00	115,09	398,68	1,7373	91,48	398,20	1,7209	75,73	397,70	1,7074
80,00	118,71	405,29	1,7562	94,42	404,84	1,7400	78,22	404,38	1,7265
90,00	122,32	411,96	1,7749	97,34	411,54	1,7587	80,69	411,11	1,7454
100,00	125,92	418,71	1,7932	100,25	418,31	1,7771	83,14	417,91	1,7638
110,00	129,50	425,52	1,8112	103,14	425,14	1,7952	85,57	424,77	1,7820
	0,40 MPa (8,11 °C)			0,50 MPa (15,54 °C)			0,60 MPa (21,93 °C)		
20,00	46,03	363,75	1,5818	35,85	362,15	1,5625			
30,00	48,10	370,25	1,6036	37,61	368,80	1,5848	30,58	367,29	1,5687
40,00	50,14	376,79	1,6248	39,31	375,47	1,6065	32,07	374,10	1,5908
50,00	52,13	383,37	1,6455	40,98	382,17	1,6275	33,52	380,92	1,6122
60,00	54,10	390,01	1,6657	42,61	388,90	1,6480	34,93	387,76	1,6330
70,00	56,04	396,70	1,6855	44,21	395,67	1,6681	36,32	394,62	1,6533
80,00	57,96	403,44	1,7049	45,79	402,49	1,6876	37,67	401,52	1,6731
90,00	59,86	410,24	1,7239	47,35	409,36	1,7068	39,01	408,46	1,6925
100,00	61,74	417,10	1,7425	48,89	416,28	1,7256	40,32	415,44	1,7115
110,00	63,61	424,01	1,7608	50,42	423,24	1,7440	41,62	422,46	1,7300
120,00	65,46	430,98	1,7787	51,93	430,26	1,7621	42,91	429,52	1,7482
130,00	67,30	438,00	1,7964	53,43	437,32	1,7798	44,18	436,63	1,7661
	0,70 MPa (27,57 °C)			0,80 MPa (32,64 °C)			0,90 MPa (37,26 °C)		
40,00	26,88	372,68	1,5768	22,96	371,19	1,5642	19,89	369,63	1,5524
50,00	28,18	379,63	1,5987	24,15	378,29	1,5865	21,01	376,90	1,5752
60,00	29,44	386,58	1,6199	25,30	385,37	1,6080	22,07	384,12	1,5972
70,00	30,66	393,55	1,6405	26,41	392,44	1,6290	23,10	391,30	1,6184
80,00	31,86	400,53	1,6605	27,50	399,51	1,6493	24,10	398,47	1,6390
90,00	33,04	407,54	1,6801	28,56	406,60	1,6691	25,06	405,64	1,6591
100,00	34,20	414,58	1,6992	29,59	413,71	1,6884	26,01	412,83	1,6786
110,00	35,33	421,66	1,7180	30,61	420,86	1,7073	26,94	420,03	1,6976
120,00	36,46	428,78	1,7363	31,62	428,03	1,7258	27,85	427,26	1,7163
130,00	37,57	435,94	1,7543	32,61	435,24	1,7439	28,75	434,52	1,7345
140,00	38,67	443,14	1,7719	33,59	442,48	1,7616	29,63	441,81	1,7524
150,00	39,76	450,38	1,7892	34,56	449,76	1,7790	30,51	449,13	1,7699

Tab 3.2a



Temp. [°C]	$v$ [dm <sup>3</sup> /kg]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/(kg·K)]	$v$ [dm <sup>3</sup> /kg]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/(kg·K)]	$v$ [dm <sup>3</sup> /kg]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/(kg·K)]
	1,00 MPa (41,51 °C)			1,20 MPa (49,16 °C)			1,40 MPa (55,91 °C)		
50,00	18,47	375,45	1,5646	14,62	372,32	1,5448			
60,00	19,48	382,82	1,5871	15,55	380,05	1,5683	12,69	377,03	1,5508
70,00	20,44	390,12	1,6087	16,42	387,65	1,5908	13,51	384,99	1,5744
80,00	21,37	397,40	1,6296	17,25	395,17	1,6124	14,29	392,79	1,5968
90,00	22,27	404,66	1,6499	18,05	402,63	1,6332	15,02	400,49	1,6183
100,00	23,14	411,92	1,6696	18,82	410,06	1,6534	15,72	408,11	1,6390
110,00	24,00	419,20	1,6888	19,57	417,48	1,6730	16,40	415,69	1,6590
120,00	24,83	426,49	1,7076	20,30	424,90	1,6921	17,06	423,25	1,6785
130,00	25,66	433,80	1,7260	21,02	432,32	1,7108	17,69	430,80	1,6975
140,00	26,47	441,14	1,7439	21,72	439,76	1,7290	18,32	438,34	1,7159
150,00	27,27	448,50	1,7616	22,41	447,21	1,7468	18,93	445,89	1,7340
160,00	28,06	455,90	1,7788	23,09	454,69	1,7643	19,53	453,45	1,7517
	1,60 MPa (61,98 °C)			1,80 MPa (67,51 °C)			2,00 MPa (72,60 °C)		
70,00	11,29	382,09	1,5587	9,51	378,86	1,5433			
80,00	12,03	390,25	1,5821	10,25	387,49	1,5680	8,79	384,45	1,5541
90,00	12,73	398,22	1,6044	10,92	395,80	1,5912	9,45	393,19	1,5785
100,00	13,38	406,06	1,6257	11,55	403,91	1,6133	10,06	401,62	1,6014
110,00	14,01	413,83	1,6463	12,14	411,88	1,6344	10,63	409,84	1,6231
120,00	14,61	421,54	1,6661	12,70	419,77	1,6547	11,17	417,92	1,6439
130,00	15,20	429,22	1,6854	13,24	427,60	1,6744	11,68	425,92	1,6640
140,00	15,76	436,88	1,7042	13,77	435,39	1,6934	12,17	433,84	1,6834
150,00	16,32	444,54	1,7225	14,28	443,15	1,7120	12,65	441,72	1,7023
160,00	16,86	452,19	1,7404	14,78	450,90	1,7301	13,11	449,58	1,7206
170,00	17,39	459,85	1,7578	15,27	458,64	1,7478	13,56	457,41	1,7385
180,00	17,91	467,52	1,7750	15,74	466,39	1,7651	14,00	465,24	1,7560
	2,50 MPa (83,85 °C)			3,00 MPa (93,54 °C)			4,00 MPa (109,73 °C)		
90,00	6,69	385,47	1,5462						
100,00	7,31	395,12	1,5724	5,32	386,75	1,5416			
110,00	7,86	404,20	1,5964	5,93	397,44	1,5699	2,76	370,44	1,4879
120,00	8,36	412,92	1,6189	6,44	407,18	1,5950	3,79	391,18	1,5415
130,00	8,83	421,42	1,6403	6,90	416,39	1,6181	4,35	403,79	1,5732
140,00	9,28	429,75	1,6607	7,32	425,28	1,6399	4,79	414,66	1,5998
150,00	9,70	437,98	1,6804	7,71	433,94	1,6606	5,17	424,69	1,6238
160,00	10,10	446,13	1,6994	8,08	442,44	1,6805	5,52	434,22	1,6460
170,00	10,49	454,22	1,7179	8,44	450,84	1,6996	5,84	443,42	1,6670
180,00	10,87	462,27	1,7358	8,78	459,14	1,7182	6,14	452,39	1,6871
190,00	11,24	470,29	1,7533	9,11	467,39	1,7362	6,43	461,19	1,7063
200,00	11,60	478,29	1,7704	9,43	475,59	1,7537	6,70	469,87	1,7248

Tab 3.2b

Temperatura <i>t</i> °C	Press. assoluta <i>p</i> kg/cm <sup>2</sup>	Volume specifico		Peso specifico		Entalpia		Calore di vaporiz. <i>r = i'' - i'</i> kcal/kg	Entropia	
		del liquido <i>v'</i> l/kg	del vapore <i>v''</i> m <sup>3</sup> /kg	del liquido <i>γ'</i> kg/l	del vapore <i>γ''</i> kg/m <sup>3</sup>	del liquido <i>i'</i> kcal/kg	del vapore <i>i''</i> kcal/kg		del liquido <i>s'</i> kcal/kg °K	del vapore <i>s''</i> kcal/kg °K
-70	0,1258	0,6234	1,1259	1,604	0,888	85,84	128,88	42,99	0,94050	1,15219
-69	0,1341	0,6246	1,0605	1,601	0,943	86,02	128,95	42,93	0,94139	1,15173
-68	0,1429	0,6258	0,9998	1,598	1,000	86,20	129,06	42,86	0,94230	1,15130
-67	0,1521	0,6270	0,9437	1,595	1,060	86,39	129,19	42,80	0,94322	1,15087
-66	0,1618	0,6281	0,8911	1,592	1,122	86,57	129,30	42,73	0,94411	1,15044
-65	0,1721	0,6289	0,8413	1,590	1,189	86,75	129,41	42,66	0,94500	1,15001
-64	0,1829	0,6301	0,7954	1,587	1,257	86,94	129,54	42,60	0,94589	1,14961
-63	0,1941	0,6313	0,7528	1,584	1,328	87,12	129,65	42,53	0,94678	1,14920
-62	0,2059	0,6325	0,7125	1,581	1,403	87,31	129,77	42,46	0,94769	1,14883
-61	0,2183	0,6337	0,6749	1,578	1,482	87,50	129,89	42,39	0,94858	1,14844
-60	0,2316	0,6349	0,6394	1,575	1,564	87,68	130,00	42,32	0,94946	1,14806
-59	0,2451	0,6361	0,6064	1,572	1,649	87,87	130,12	42,25	0,95034	1,14769
-58	0,2595	0,6373	0,5752	1,569	1,738	88,06	130,24	42,18	0,95122	1,14731
-57	0,2744	0,6386	0,5461	1,566	1,831	88,25	130,36	42,11	0,95212	1,14698
-56	0,2900	0,6394	0,5188	1,564	1,927	88,44	130,48	42,04	0,95300	1,14663
-55	0,3065	0,6406	0,4930	1,561	2,028	88,63	130,59	41,96	0,95387	1,14627
-54	0,3236	0,6418	0,4687	1,558	2,134	88,82	130,71	41,89	0,95474	1,14595
-53	0,3414	0,6431	0,4461	1,555	2,242	89,01	130,83	41,82	0,95561	1,14562
-52	0,3602	0,6443	0,4246	1,552	2,355	89,20	130,95	41,75	0,95650	1,14531
-51	0,3797	0,6456	0,4043	1,549	2,473	89,39	131,06	41,67	0,95737	1,14500
-50	0,3999	0,6468	0,3854	1,546	2,595	89,59	131,18	41,59	0,95824	1,14468
-49	0,4212	0,6481	0,3673	1,543	2,723	89,78	131,30	41,52	0,95910	1,14438
-48	0,4432	0,6493	0,3504	1,540	2,854	89,97	131,42	41,45	0,95997	1,14410
-47	0,4662	0,6502	0,3344	1,538	2,990	90,17	131,54	41,37	0,96084	1,14381
-46	0,4900	0,6515	0,3193	1,535	3,132	90,36	131,65	41,29	0,96170	1,14352
-45	0,5150	0,6527	0,3050	1,532	3,279	90,56	131,77	41,21	0,96256	1,14324
-44	0,5409	0,6540	0,2914	1,529	3,432	90,76	131,89	41,13	0,96342	1,14297
-43	0,5678	0,6553	0,2787	1,526	3,588	90,95	132,01	41,06	0,96428	1,14271
-42	0,5958	0,6566	0,2665	1,523	3,752	91,15	132,13	40,98	0,96515	1,14247
-41	0,6247	0,6579	0,2551	1,520	3,920	91,35	132,24	40,89	0,96600	1,14220
-40	0,6551	0,6592	0,2441	1,517	4,097	91,55	132,36	40,81	0,96685	1,14193
-39	0,6865	0,6605	0,2337	1,514	4,279	91,75	132,48	40,73	0,96770	1,14170
-38	0,7189	0,6618	0,2239	1,511	4,466	91,95	132,60	40,65	0,96855	1,14146
-37	0,7523	0,6631	0,2146	1,508	4,660	92,15	132,72	40,57	0,96941	1,14124
-36	0,7875	0,6645	0,2057	1,505	4,862	92,35	132,83	40,48	0,97026	1,14101
-35	0,8238	0,6658	0,1973	1,502	5,069	92,55	132,95	40,40	0,97110	1,14078
-34	0,8610	0,6671	0,1894	1,499	5,280	92,76	133,07	40,31	0,97194	1,14055
-33	0,9000	0,6684	0,1818	1,496	5,501	92,96	133,19	40,23	0,97278	1,14034
-32	0,9400	0,6698	0,1747	1,493	5,724	93,16	133,30	40,14	0,97364	1,14014
-31	0,9818	0,6711	0,1678	1,490	5,960	93,37	133,43	40,06	0,97448	1,13993
-30	1,0245	0,6725	0,1613	1,487	6,200	93,57	133,54	39,97	0,97532	1,13975
-29	1,0688	0,6739	0,1551	1,484	6,447	93,78	133,66	39,88	0,97616	1,13954
-28	1,1149	0,6752	0,1492	1,481	6,702	93,98	133,77	39,79	0,97699	1,13934
-27	1,1622	0,6766	0,1436	1,478	6,964	94,19	133,90	39,71	0,97783	1,13917
-26	1,2109	0,6780	0,1382	1,475	7,236	94,40	134,01	39,61	0,97867	1,13899
-25	1,2616	0,6793	0,1331	1,472	7,513	94,61	134,13	39,52	0,97950	1,13879
-24	1,3140	0,6807	0,1282	1,469	7,800	94,81	134,24	39,43	0,98033	1,13862
-23	1,3678	0,6821	0,1235	1,466	8,097	95,02	134,36	39,34	0,98116	1,13845
-22	1,4227	0,6835	0,1190	1,463	8,403	95,23	134,47	39,24	0,98200	1,13829
-21	1,4805	0,6854	0,1147	1,459	8,718	95,44	134,59	39,15	0,98283	1,13814
-20	1,5396	0,6868	0,1107	1,456	9,034	95,65	134,71	39,06	0,98365	1,13798

Tab 3.3a

Tempe- ratura <i>t</i> °C	Press. assoluta <i>p</i> kg/cm <sup>2</sup>	Volume specifico		Peso specifico		Entalpia		Colore di vaporiz. <i>r = i'' - i'</i> kcal/kg	Entropia	
		del liquido <i>v'</i> l/kg	del vapore <i>v''</i> m <sup>3</sup> /kg	del liquido <i>γ'</i> kg/l	del vapore <i>γ''</i> kg/m <sup>3</sup>	del liquido <i>i'</i> kcal/kg	del vapore <i>i''</i> kcal/kg		del liquido <i>s'</i> kcal kg °K	del vapore <i>s''</i> kcal kg °K
		—19	1,6005	0,6882	0,1067	1,453	9,372		95,87	134,83
—18	1,6627	0,6897	0,1030	1,450	9,709	96,08	134,95	38,87	0,98531	1,13768
—17	1,7275	0,6911	0,09938	1,447	10,06	96,29	135,06	38,77	0,98614	1,13753
—16	1,7940	0,6925	0,09597	1,444	10,42	96,50	135,17	38,67	0,98696	1,13738
—15	1,8622	0,6940	0,09268	1,441	10,79	96,72	135,29	38,57	0,98778	1,13723
—14	1,9321	0,6954	0,08952	1,438	11,17	96,93	135,40	38,47	0,98860	1,13709
—13	2,0050	0,6973	0,08650	1,434	11,56	97,15	135,52	38,37	0,98942	1,13695
—12	2,0793	0,6988	0,08361	1,431	11,96	97,36	135,63	38,27	0,99025	1,13682
—11	2,1555	0,7003	0,08082	1,428	12,37	97,58	135,75	38,17	0,99107	1,13668
—10	2,2342	0,7018	0,07813	1,425	12,80	97,80	135,87	38,07	0,99188	1,13657
— 9	2,3148	0,7032	0,07558	1,422	13,23	98,02	135,98	37,96	0,99270	1,13644
— 8	2,3984	0,7047	0,07313	1,419	13,68	98,23	136,09	37,86	0,99351	1,13633
— 7	2,4833	0,7062	0,07078	1,416	14,13	98,45	136,20	37,75	0,99432	1,13620
— 6	2,5712	0,7077	0,06852	1,413	14,60	98,67	136,32	37,65	0,99514	1,13609
— 5	2,6602	0,7092	0,06635	1,410	15,08	98,89	136,43	37,54	0,99595	1,13598
— 4	2,7531	0,7107	0,06427	1,407	15,57	99,11	136,54	37,43	0,99676	1,13586
— 3	2,8479	0,7127	0,06226	1,403	16,07	99,33	136,65	37,32	0,99757	1,13575
— 2	2,9439	0,7143	0,06028	1,400	16,59	99,56	136,77	37,21	0,99839	1,13566
— 1	3,0446	0,7158	0,05844	1,397	17,11	99,78	136,88	37,10	0,99919	1,13555
0	3,1465	0,7173	0,05667	1,394	17,65	100,00	136,99	36,99	1,00000	1,13546
+ 1	3,2511	0,7189	0,05496	1,391	18,20	100,22	137,10	36,88	1,00081	1,13535
+ 2	3,3583	0,7205	0,05330	1,388	18,76	100,45	137,21	36,76	1,00161	1,13524
+ 3	3,4676	0,7220	0,05168	1,385	19,35	100,67	137,32	36,65	1,00242	1,13515
+ 4	3,5804	0,7241	0,05012	1,381	19,95	100,90	137,43	36,53	1,00322	1,13506
+ 5	3,6959	0,7257	0,04863	1,378	20,56	101,12	137,54	36,42	1,00402	1,13497
+ 6	3,8135	0,7273	0,04721	1,375	21,18	101,35	137,65	36,30	1,00483	1,13488
+ 7	3,9348	0,7289	0,04583	1,372	21,82	101,58	137,76	36,18	1,00563	1,13480
+ 8	4,0582	0,7310	0,04450	1,368	22,47	101,80	137,86	36,06	1,00643	1,13471
+ 9	4,1853	0,7326	0,04323	1,365	23,13	102,03	137,97	35,94	1,00723	1,13462
+10	4,3135	0,7342	0,04204	1,362	23,79	102,26	138,08	35,82	1,00803	1,13455
+11	4,4466	0,7358	0,04086	1,359	24,48	102,49	138,18	35,69	1,00883	1,13446
+12	4,5828	0,7380	0,03970	1,355	25,19	102,72	138,29	35,57	1,00963	1,13439
+13	4,7209	0,7396	0,03858	1,352	25,92	102,95	138,39	35,44	1,01042	1,13430
+14	4,8621	0,7413	0,03751	1,349	26,66	103,18	138,49	35,31	1,01122	1,13422
+15	5,0076	0,7435	0,03648	1,345	27,41	103,42	138,61	35,19	1,01201	1,13414
+16	5,1550	0,7452	0,03547	1,342	28,19	103,65	138,70	35,05	1,01281	1,13407
+17	5,3067	0,7468	0,03449	1,339	28,99	103,88	138,81	34,93	1,01361	1,13400
+18	5,4605	0,7491	0,03354	1,335	29,87	104,12	138,91	34,79	1,01440	1,13392
+19	5,6172	0,7507	0,03263	1,332	30,65	104,35	139,01	34,66	1,01519	1,13385
+20	5,7786	0,7524	0,03175	1,329	31,50	104,59	139,12	34,53	1,01598	1,13378
+21	5,9432	0,7547	0,03089	1,325	32,38	104,82	139,21	34,39	1,01678	1,13372
+22	6,1112	0,7570	0,03005	1,321	33,28	105,06	139,31	34,25	1,01757	1,13364
+23	6,2825	0,7587	0,02925	1,318	34,19	105,29	139,40	34,11	1,01835	1,13356
+24	6,4584	0,7605	0,02848	1,315	35,11	105,53	139,50	33,97	1,01914	1,13350
+25	6,6363	0,7628	0,02773	1,311	36,07	105,77	139,61	33,84	1,01993	1,13344
+26	6,8175	0,7645	0,02700	1,308	37,04	106,01	139,70	33,69	1,02072	1,13337
+27	7,0020	0,7669	0,02629	1,304	38,04	106,25	139,79	33,54	1,02151	1,13329
+28	7,1933	0,7692	0,02560	1,300	39,06	106,49	139,89	33,40	1,02229	1,13322
+29	7,3863	0,7710	0,02494	1,297	40,10	106,73	139,98	33,25	1,02307	1,13315
+30	7,5810	0,7734	0,02433	1,293	41,11	106,97	140,08	33,11	1,02387	1,13310

Tab 3.3b

Tempe- ratura <i>t</i> °C	Press. assoluta <i>p</i> kg/cm <sup>2</sup>	Volume specifico		Peso specifico		Entalpia		Calore di vaporiz. <i>r=i''-i'</i> kcal/kg	Entropia	
		del liquido <i>v'</i> l/kg	del vapore <i>v''</i> m <sup>3</sup> /kg	del liquido <i>γ'</i> kg/l	del vapore <i>γ''</i> kg/m <sup>3</sup>	del liquido <i>i'</i> kcal/kg	del vapore <i>i''</i> kcal/kg		del liquido <i>s'</i> kcal kg °K	del vapore <i>s''</i> kcal kg °K
+ 31	7,7826	0,7758	0,02371	1,289	42,18	107,21	140,16	32,95	1,02465	1,13301
+ 32	7,9897	0,7782	0,02309	1,285	43,31	107,45	140,25	32,80	1,02543	1,13294
+ 33	8,2003	0,7800	0,02250	1,282	44,45	107,69	140,34	32,65	1,02620	1,13286
+ 34	8,4087	0,7825	0,02192	1,278	45,62	107,94	140,43	32,49	1,02699	1,13280
+ 35	8,6264	0,7849	0,02136	1,274	46,81	108,18	140,51	32,33	1,02778	1,13273
+ 36	8,8475	0,7874	0,02083	1,270	48,01	108,43	140,61	32,18	1,02856	1,13266
+ 37	9,0726	0,7893	0,02030	1,267	49,25	108,67	140,69	32,02	1,02934	1,13258
+ 38	9,2989	0,7918	0,01980	1,263	50,51	108,92	140,77	31,85	1,03011	1,13250
+ 39	9,5351	0,7943	0,01931	1,259	51,79	109,16	140,85	31,69	1,03089	1,13243
+ 40	9,7707	0,7968	0,01882	1,255	53,13	109,41	140,94	31,53	1,03167	1,13236
+ 41	10,014	0,7994	0,01835	1,251	54,49	109,66	141,02	31,36	1,03246	1,13229
+ 42	10,257	0,8019	0,01789	1,247	55,90	109,91	141,10	31,19	1,03324	1,13222
+ 43	10,511	0,8045	0,01744	1,243	57,34	110,16	141,18	31,02	1,03400	1,13212
+ 44	10,763	0,8071	0,01700	1,239	58,83	110,41	141,25	30,84	1,03478	1,13204
+ 45	11,023	0,8104	0,01656	1,234	60,38	110,66	141,33	30,67	1,03556	1,13197
+ 46	11,283	0,8130	0,01614	1,230	61,95	110,91	141,40	30,49	1,03634	1,13188
+ 47	11,553	0,8157	0,01573	1,226	63,57	111,15	141,48	30,31	1,03712	1,13180
+ 48	11,828	0,8190	0,01533	1,221	65,24	111,42	141,56	30,14	1,03788	1,13173
+ 49	12,108	0,8217	0,01494	1,217	66,94	111,67	141,64	29,97	1,03865	1,13168
+ 50	12,386	0,8244	0,01459	1,213	68,56	111,94	141,73	29,79	1,03945	1,13163
+ 55	13,868	0,8410	0,01316	1,189	75,98	113,25	142,13	28,88	1,0433	1,1314
+ 60	15,481	0,8568	0,01167	1,167	85,69	114,57	142,49	27,92	1,0472	1,1311
+ 65	17,216	0,8741	0,01036	1,114	96,52	115,92	142,82	26,90	1,0511	1,1307
+ 70	19,096	0,8936	0,00919	1,119	108,81	117,29	143,09	25,80	1,0550	1,1302
+ 75	21,125	0,9149	0,00814	1,093	122,85	118,69	143,31	24,62	1,0590	1,1297
+ 80	23,290	0,9398	0,00723	1,064	138,31	120,13	143,46	23,33	1,0629	1,1290
+ 85	25,620	0,9680	0,00639	1,033	156,49	121,61	143,51	21,90	1,0669	1,1281
+ 90	28,107	1,0009	0,00564	0,999	177,30	123,12	143,41	20,29	1,0700	1,1269
+ 95	30,771	1,0416	0,00497	0,960	201,20	124,69	143,11	18,42	1,0714	1,1252
+ 100	33,614	1,0952	0,00437	0,913	228,83	126,36	142,51	16,15	1,0794	1,1227
+ 105	36,654	1,1736	0,00359	0,852	278,48	128,13	141,51	13,38	1,0841	1,1195
+ 110	39,874	1,3513	0,00266	0,742	374,93	131,44	138,89	7,45	1,0917	1,1111
+ 115,5	40,879	1,7934	0,00179	0,558	557,59	134,75	134,75	0	1,1016	1,1016
(critica)										

Tab 3.3c

## 4 - CONDIZIONAMENTO:

### 4.1 -CARICHI TERMOIGROMETRICI DELL'EDIFICIO:

**Le condizioni di benessere si ottengono avendo in ambiente aria con le seguenti caratteristiche:**

**Estate:**

temperatura ambiente  $T_{int} = 26^{\circ}\text{C}$       umidità relativa dell'aria ambiente  $U_{int} = 50\%$

**Inverno:**

temperatura ambiente  $T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$       umidità relativa dell'aria ambiente  $U_{int} = 50\%$

**Le condizioni esterne di progetto sono:**

**Estate:**

temperatura esterna  $T_{est} = 35^{\circ}\text{C}$       umidità relativa dell'aria esterna  $U_{est} = 60\%$

**Inverno:**

temperatura esterna  $T_{est} = -5^{\circ}\text{C}$       umidità relativa dell'aria esterna  $U_{est} = 70\%$

### FONTI DI CALORE SENSIBILE:

#### 1 - RIENTRATA TERMICA PER IRRAGGIAMENTO:

Attraverso vetrate:

$$Q_{Siv} = S_v \times I \times C$$

Dove:

$S_v$  = superficie vetrata

$I$  = valore della radiazione solare ( Tab 4.1 )

$C$  = coefficiente di correzione ( Tab 4.2/4.3 )

Radiazione solare massima  
(al 21 luglio)  $35^{\circ}$  di Latitudine

$I = \text{W/m}^2 (\text{kcal/m}^2 \text{ h})$  proiettate dal sole su pareti e vetrate

Ora solare	Verticali con orientazione												Orizzontali			
	NE		E		SE		S		SO		O				NO	
5	28	(24)	28	(24)	9,3	(8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	212	(182)	227	(195)	110	(95)	—	—	—	—	—	—	—	—	46	(40)
7	446	(384)	547	(470)	326	(280)	—	—	—	—	—	—	—	—	242	(208)
8	471	(405)	657	(565)	453	(390)	—	—	—	—	—	—	—	—	477	(410)
9	372	(320)	599	(515)	483	(415)	81	(70)	—	—	—	—	—	—	674	(580)
10	188	(162)	448	(385)	436	(375)	174	(150)	—	—	—	—	—	—	826	(710)
11	5,8	(5)	237	(204)	326	(280)	227	(195)	—	—	—	—	—	—	913	(785)
12	—	—	—	—	174	(150)	244	(210)	174	(150)	—	—	—	—	942	(810)
13	—	—	—	—	—	—	227	(195)	326	(280)	237	(204)	5,8	(5)	9,3	(785)
14	—	—	—	—	—	—	174	(150)	436	(375)	448	(385)	188	(162)	826	(710)
15	—	—	—	—	—	—	81	(70)	483	(415)	599	(515)	372	(320)	674	(580)
16	—	—	—	—	—	—	—	—	453	(390)	657	(565)	471	(405)	477	(410)
17	—	—	—	—	—	—	—	—	326	(280)	547	(470)	446	(384)	242	(208)
18	—	—	—	—	—	—	—	—	110	(95)	227	(195)	212	(182)	46	(40)
19	—	—	—	—	—	—	—	—	9,3	(8)	28	(24)	28	(24)	—	—
Totale nella giornata	1723	(1482)	2742	(2358)	2318	(1993)	1210	(1040)	2318	(1993)	2742	(2358)	1723	(1482)	7299	(6276)
Valore medio per le ore di insolaz.	337	(290)	453	(390)	407	(350)	210	(180)	407	(350)	453	(390)	337	(290)	744	(640)

**Radiazione solare massima**  
(al 21 Luglio) a 30° di Latitudine

$I = W/m^2 (kcal/m^2 h)$  proiettate dal sole su pareti e vetrate

Ora solare	Verticali con orientazione														Orizzontali		
	NE		E		SE		S		SO		O		NO				
5	3,5	(3)	3,5	(3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	142	(122)	160	(138)	75	(65)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29	(25)
7	430	(370)	506	(435)	284	(244)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	215	(185)
8	477	(410)	645	(555)	430	(370)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	465	(400)
9	401	(345)	599	(515)	442	(380)	25	(22)	—	—	—	—	—	—	—	674	(580)
10	250	(215)	444	(382)	384	(330)	97	(84)	—	—	—	—	—	—	—	837	(720)
11	66	(57)	246	(212)	267	(230)	142	(122)	—	—	—	—	—	—	—	930	(800)
12	—	—	—	—	113	(97)	158	(136)	267	(97)	—	—	—	—	—	965	(830)
13	—	—	—	—	—	—	142	(122)	267	(230)	246	(212)	66	(57)	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	97	(84)	384	(330)	444	(382)	250	(215)	930	(800)	—
15	—	—	—	—	—	—	25	(22)	442	(380)	599	(515)	401	(345)	837	(720)	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	430	(370)	645	(555)	477	(410)	674	(580)	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	284	(244)	506	(435)	430	(370)	465	(400)	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	75	(65)	160	(138)	142	(122)	215	(185)	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	(3)	3,5	(3)	29	(25)	—
<b>Totale nella giornata....</b>	<b>1770</b>	<b>(1522)</b>	<b>2605</b>	<b>(2240)</b>	<b>1996</b>	<b>(1716)</b>	<b>688</b>	<b>(592)</b>	<b>1996</b>	<b>(1716)</b>	<b>2605</b>	<b>(2240)</b>	<b>1770</b>	<b>(1522)</b>	<b>7269</b>	<b>(6250)</b>	
<b>Valore medio per le ore di insolaz.</b>	<b>326</b>	<b>(280)</b>	<b>430</b>	<b>(370)</b>	<b>326</b>	<b>(280)</b>	<b>128</b>	<b>(110)</b>	<b>326</b>	<b>(280)</b>	<b>430</b>	<b>(370)</b>	<b>326</b>	<b>(280)</b>	<b>756</b>	<b>(650)</b>	

Tab 4.1b

**Radiazione solare massima**  
(al 21 Luglio) a 40° di Latitudine (Italia meridionale e centro-meridionale)

$I = W/m^2 (kcal/m^2 h)$  proiettate dal sole su pareti e vetrate

Ora solare	Verticali con orientazione														Orizzontali		
	NE		E		SE		S		SO		O		NO				
5	44	(38)	44	(38)	15	(13)	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	(3)	—
6	227	(195)	252	(217)	126	(108)	—	—	—	—	—	—	—	—	59	(51)	—
7	448	(385)	564	(485)	351	(302)	—	—	—	—	—	—	—	—	246	(212)	—
8	448	(385)	663	(570)	488	(420)	25	(22)	—	—	—	—	—	—	477	(410)	—
9	326	(280)	605	(520)	529	(455)	145	(125)	—	—	—	—	—	—	669	(575)	—
10	144	(124)	448	(385)	488	(420)	242	(208)	—	—	—	—	—	—	814	(700)	—
11	—	—	236	(203)	384	(330)	299	(257)	46	(40)	—	—	—	—	895	(770)	—
12	—	—	—	—	230	(198)	326	(280)	230	(198)	—	—	—	—	919	(790)	—
13	—	—	—	—	46	(40)	299	(257)	384	(330)	236	(203)	—	—	895	(770)	—
14	—	—	—	—	—	—	242	(208)	488	(420)	448	(385)	144	(124)	814	(700)	—
15	—	—	—	—	—	—	145	(125)	529	(455)	605	(520)	326	(280)	669	(575)	—
16	—	—	—	—	—	—	25	(22)	488	(420)	663	(570)	448	(385)	477	(410)	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	351	(302)	564	(485)	448	(385)	246	(212)	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	126	(108)	252	(217)	227	(195)	59	(51)	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	15	(13)	44	(38)	44	(38)	3,5	(3)	—
<b>Totale nella giornata</b>	<b>1636</b>	<b>(1407)</b>	<b>2812</b>	<b>(2418)</b>	<b>2659</b>	<b>(2286)</b>	<b>1749</b>	<b>(1504)</b>	<b>2659</b>	<b>(2286)</b>	<b>2812</b>	<b>(2418)</b>	<b>1636</b>	<b>(1407)</b>	<b>7248</b>	<b>(6232)</b>	
<b>Val. medio per le ore di insolaz.</b>	<b>360</b>	<b>(310)</b>	<b>477</b>	<b>(410)</b>	<b>442</b>	<b>(380)</b>	<b>244</b>	<b>(210)</b>	<b>442</b>	<b>(380)</b>	<b>477</b>	<b>(410)</b>	<b>360</b>	<b>(310)</b>	<b>674</b>	<b>(580)</b>	

Tab 4.1c

**Radiazione solare massima**  
(al 21 Luglio) a 45° di Latitudine (Italia settentrionale e centro-settentrionale)

Ora solare	I = W/m <sup>2</sup> (kcal/m <sup>2</sup> h) proiettate dal sole su pareti e vetrate															
	Verticali con orientazione												Orizzontali			
	NE		E		SE		S		SO		O				NO	
5	78	(67)	75	(65)	28	(24)	—	—	—	—	—	—	—	—	5,8	(5)
6	279	(240)	312	(268)	163	(140)	—	—	—	—	—	—	—	—	81	(70)
7	469	(403)	607	(522)	395	(340)	—	—	—	—	—	—	—	—	284	(244)
8	442	(380)	686	(590)	537	(462)	70	(60)	—	—	—	—	—	—	488	(420)
9	291	(250)	610	(525)	576	(495)	205	(176)	—	—	—	—	—	—	663	(570)
10	103	(89)	453	(390)	537	(462)	308	(265)	—	—	—	—	—	—	791	(680)
11	—	—	236	(203)	438	(377)	380	(327)	101	(87)	—	—	—	—	861	(740)
12	—	—	—	—	285	(245)	402	(346)	285	(245)	—	—	—	—	884	(760)
13	—	—	—	—	101	(87)	380	(327)	438	(377)	236	(203)	—	—	861	(740)
14	—	—	—	—	—	—	308	(265)	537	(462)	453	(390)	103	(89)	791	(680)
15	—	—	—	—	—	—	205	(176)	576	(495)	610	(525)	291	(250)	663	(570)
16	—	—	—	—	—	—	70	(60)	537	(462)	686	(590)	442	(380)	488	(420)
17	—	—	—	—	—	—	—	—	395	(340)	607	(522)	469	(403)	284	(244)
18	—	—	—	—	—	—	—	—	163	(140)	312	(268)	279	(240)	81	(70)
19	—	—	—	—	—	—	—	—	28	(24)	75	(65)	78	(67)	5,8	(5)
Totale nella giornata	1662	(1429)	2981	(2563)	3061	(2632)	2328	(2002)	3061	(2632)	2981	(2563)	1662	(1429)	7231	(6218)
Val. medio per le ore di insolaz.	360	(310)	483	(415)	465	(400)	314	(270)	465	(400)	483	(415)	360	(310)	674	(580)

Tab 4.1d

**Radiazione solare massima**  
(al 21 Luglio) a 50° di Latitudine

Ora solare	I = W/m <sup>2</sup> (kcal/m <sup>2</sup> h) proiettate dal sole su pareti e vetrate															
	Verticali con orientazione												Orizzontali			
	NE		E		SE		S		SO		O				NO	
5	74	(64)	73	(63)	31	(27)	—	—	—	—	—	—	—	—	5,8	(5)
6	271	(233)	306	(263)	181	(156)	—	—	—	—	—	—	—	—	79	(68)
7	459	(395)	605	(520)	423	(364)	—	—	—	—	—	—	—	—	267	(230)
8	435	(374)	686	(590)	587	(505)	91	(78)	—	—	—	—	—	—	442	(380)
9	274	(236)	610	(525)	614	(528)	265	(228)	—	—	—	—	—	—	622	(535)
10	86	(74)	446	(384)	593	(510)	273	(235)	—	—	—	—	—	—	733	(630)
11	—	—	238	(205)	477	(410)	337	(290)	114	(98)	—	—	—	—	802	(690)
12	—	—	—	—	308	(265)	413	(355)	308	(265)	—	—	—	—	837	(720)
13	—	—	—	—	114	(98)	337	(290)	477	(410)	238	(205)	—	—	802	(690)
14	—	—	—	—	—	—	273	(235)	593	(510)	446	(384)	86	(74)	733	(630)
15	—	—	—	—	—	—	265	(228)	614	(528)	610	(525)	274	(236)	622	(535)
16	—	—	—	—	—	—	91	(78)	587	(505)	686	(590)	435	(374)	442	(380)
17	—	—	—	—	—	—	—	—	423	(364)	605	(520)	459	(395)	267	(230)
18	—	—	—	—	—	—	—	—	181	(156)	306	(263)	271	(233)	79	(68)
19	—	—	—	—	—	—	—	—	31	(27)	73	(63)	74	(64)	5,8	(5)
Totale nella giornata	1600	(1376)	2966	(2550)	3330	(2863)	2346	(2017)	3330	(2863)	2966	(2550)	1600	(1376)	6741	(5796)
Val. medio per le ore di insolaz.	349	(300)	483	(415)	471	(405)	314	(270)	471	(405)	483	(415)	349	(300)	651	(560)

Tab 4.1e

Velocità del vento: 8 km/h - Angolo di incidenza 30° - Tondaggi, tapparelle, ecc. si intendono ricoprire completamente la finestra.

**Tabella** Fattori di correzione della radiazione solare attraverso il vetro con o senza schermi (\*) (Fattori da applicarsi ai valori della Tabella 3.4)

Tipo di vetro	Senza schermi	Veneziana interna (1) (con lamelle orizzontali a 45°) o avvolgibile interna			Veneziana esterna (con lamelle orizzontali a 45°)		Schermo esterno (lamelle orizzontali a 17° (2) impiegate in U.S.A.)			Tenda esterna - spazio ventilato ai lati e superiormente (3)	
		chiara	media	scura	chiara	chiara allo esterno scura all'interno	medio (4)	scuro (4)	chiara	media o scura	
Vetro ordinario semplice	1	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25	
Vetro da 6 mm	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24	
Vetro assorbente (5)											
40-48%	0,8	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20	
48-56%	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,16	0,11	0,15	0,18	
56-70%	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16	
Vetro doppio											
Ordinario	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22	
Esterno: assorb. 48-56%	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13	
Interno: vetro ordinario											
Vetro triplo ordinario	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20	
Vetro verniciato											
colore chiaro	0,28										
colore medio	0,39										
colore scuro	0,50										
Vetro isolato											
ambra	0,70										
rosso scuro	0,56										
blu scuro	0,60										
verde scuro	0,32										
grigio-verde	0,46										
opalescente chiaro	0,43										
opalescente scuro	0,37										

(\*) 1960 © Carrier Corporation. Riproduzione autorizzata dalla Carrier Corporation, Syracuse, New York, U.S.A.

**Equazioni:**

Entrata per radiazione solare senza schermi = (Dato di tabella 3.4) × (Fattore senza schermi di tabella 3.5).  
 Entrata per radiazione solare con schermo completamente abbassato = (Dato di tabella 3.4) × (Fattore abbassato di tabella 3.5).  
 Entrata per radiazione solare con schermo parzialmente abbassato = (Dato di tabella 3.4) × (Fattore abbassato parzialmente di tabella 3.5) + (Dato di tabella 3.4) × (1 - frazione abbassata) × (Fattore senza schermi di tabella 3.5).

**Note:**

- (1) Tondaggi, tapparelle, ecc. si intendono ricoprire completamente la finestra ad eccezione delle avvolgibili. Per i tondaggi e tapparelle si intende moltiplicare per 0,73, nel caso di colori chiari per 0,73, nel caso di colori medi per 0,96 nel caso di colori scuri per 1,08.
- (2) Con tende esterne aderenti ai lati e superiormente, moltiplicare il fattore di tabella 3.5 per 1,4.
- (3) Lamelle in alluminio - Larghezza della lamella: 1,5 mm, numero delle lamelle: 17,5 per pollice.
- (4) Lamelle in bronzo - Larghezza della lamella: 1,2 mm, numero delle lamelle: 17 per pollice.
- (5) La maggior parte del vetro assorbente impiegato nei condizionamenti di tipo civile ha un potere assorbente della radiazione solare compreso tra il 40% e il 56%. Nel caso di impianti industriali, è compreso tra il 56% e il 70%.

(\*) I fattori sono validi per angoli di altezza solare pari a 40° o maggiori. Per altezze solari inferiori a 40°, ai cui raggi diretti passano attraverso le lamelle. Usare i seguenti moltiplicatori:

Moltiplicatori per angoli di altezza solare inferiori a 40°			
Ora solare (25 luglio)			
30° Lat. N.	40° Lat. N.	50° Lat. N.	Angolo altezza solare
6	5,45	5,30	10°
16	1,45	1,30	20°
16,45	8,40	6,30	30°
17,15	17,20	17,30	
7,30	7,30	7,30	
16,30	16,30	16,30	
Moltiplicatori			Angolo altezza solare
Colore medio			2,09
Colore scuro			3,46
Colore medio			1,56
Colore scuro			2,66
Colore medio			1,09
Colore scuro			1,67

Tab 4.2



Coefficienti di correzione per le finestre e vetrate

Condizioni particolari	Coefficiente c
Vetro trasparente, considerandone la superficie netta	0,95
Vetro smerigliato o stampato, considerandone la superficie netta	0,80
Finestre con vetro trasparente senza tenda:	
telaio in legno	0,85
telaio in ferro	0,90
Finestre con vetro trasparente:	
con tenda: esterna in tela chiara	0,28
interna, chiara, tutta abbassata	0,50
interna, chiara, semi abbassata	0,70
con tapparella esterna, alette inclinate, di tinta chiara	0,25
con oscuratore interno, alette inclinabili, tinta chiara	0,60

Tab 4.3

Attraverso muri esterni:

$$Q_{Sim} = S_m \times I \times k \times a$$

Dove:

$S_m$  = superficie muro esterno [ m<sup>2</sup> ]

I = valore della radiazione solare ( Tab 4.1 )

k = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 )

a = coefficiente di assorbimento ( Tab 4.4 )

Coefficienti di assorbimento del calore di radiazione solare

Superficie esposta ai raggi	Coefficiente a	
	m <sup>2</sup> K/W	m <sup>2</sup> h °C/kcal
Molto chiara: Pietra bianca Colori: bianco, avorio chiaro, azzurro molto chiaro	0,015	0,017
Chiara: Cemento naturale Eternit Legno naturale Intonaco non colorato Colori chiari: grigio, giallo, verde, azzurro	0,026	0,030
Scura: Lavagna Asfalto Tetto di tegole Mattoni in vista Marmo scuro Colori: bruno, rosso, blu, verde scuro	0,030	0,035
Molto scura: Colori: nero, blu	0,036	0,042

Tab 4.4

Attraverso soffitti:

$$Q_{Sis} = S_s \times I \times k \times a$$

Dove:

$S_s$  = superficie soffitto [ m<sup>2</sup> ]

I = valore della radiazione solare ( Tab 4.1 )

k = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 )

a = coefficiente di assorbimento ( Tab 4.4 )

**2 - RIENTRATA TERMICA PER TRASMISSIONE:***Attraverso vetrate:*

$$Q_{Stv} = k_v \times S_v \times (T_{est} - T_{int})$$

Dove:

 $k_v$  = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 ) $S_v$  = superficie vetrata esterna [ m<sup>2</sup> ] $T_{est}$  = temperatura esterna di progetto (35°C) ( Tab 4.6 ) $T_{int}$  = temperatura interna di progetto (26°C) ( Tab 4.7/8 )*Attraverso muri esterni:*

$$Q_{Stm} = k_m \times S_m \times (T_{est} - T_{int})$$

Dove:

 $k_m$  = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 ) $S_m$  = superficie muro esterno [ m<sup>2</sup> ] $T_{est}$  = temperatura esterna di progetto (35°C) ( Tab 4.6 ) $T_{int}$  = temperatura interna di progetto (26°C) ( Tab 4.7/8 )*Attraverso soffitti:*

$$Q_{Sts} = k_s \times S_s \times (T_{est} - T_{int})$$

Dove:

 $k_s$  = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 ) $S_s$  = superficie soffitto [ m<sup>2</sup> ] $T_{est}$  = temperatura esterna di progetto (35°C) ( Tab 4.6 ) $T_{int}$  = temperatura interna di progetto (26°C) ( Tab 4.7/8 )*Attraverso pavimenti:*

$$Q_{Stp} = k_p \times S_p \times (T_{est} - T_{int})$$

Dove:

 $k_p$  = coefficiente di trasmissione termica ( Tab 4.5 ) $S_p$  = superficie muro esterno [ m<sup>2</sup> ] $T_{est}$  = temperatura esterna di progetto (35°C) ( Tab 4.6 ) $T_{int}$  = temperatura interna di progetto (26°C) ( Tab 4.7/8 )

Nel caso che il soffitto dell'edificio non sia irraggiato  $Q_{Sis} = 0$  ; in questo caso nella formula per il  $Q_{Sts}$  al posto di  $T_{est}$  va presa in considerazione la temperatura dell'ambiente sovrastante il locale ( $T_{as}$ ) da

*Estate:*

$$T_{as} = 30^\circ\text{C}$$

*Inverno:*

$$T_{as} = 10^\circ\text{C}$$

Tale temperatura va presa in considerazione anche nella formula per il  $Q_{Stp}$  se il locale da condizionare poggia su di un altro ambiente.

Il valore di  $I$  dipende dalla latitudine e dall'orientamento del luogo in cui ci si trova, dal periodo Luglio.

Tabella 3.1 Temperature esterne estive ed invernali nelle varie città italiane da usarsi nel calcolo degli impianti di condizionamento

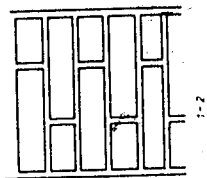
C I T T A	E S T A T E						I N V E R N O			Latitudine Nord	
	Condizione						Condizione			Gradi	Primi
	normale			massima			Escurs. termica giornal. (°C)	normale (**) (°C)	minima (°C)		
	Temperat. bulbo asciutto (°C)	Temperat. bulbo umido (°C)	Temperat. bulbo asciutto (°C)	Temperat. bulbo umido (°C)	Temperat. bulbo asciutto (°C)	Temperat. bulbo umido (°C)					
Bari . . . . .	35 (*)	24,4 (*)	—	—	—	—	0	—	—	41	06
Bologna . . . . .	33,8 (*)	22,4 (*)	36	23	36	11,0	— 5	— 10	—	44	30
Firenze . . . . .	35 (*)	21,2 (*)	37	23	37	11,0	0	— 7	—	43	47
Genova . . . . .	30 (*)	24,4 (*)	34	27	34	5,0	0	— 7	—	44	24
Milano . . . . .	33,8 (*)	22,8 (*)	36	25	36	11,0	— 5	— 8	—	45	27
Napoli . . . . .	32,4 (*)	23,8 (*)	35	26	35	9,0	+ 2	+ 1	—	40	51
Padova . . . . .	34	23	36	25	36	11,0	— 5	— 8	—	45	24
Roma . . . . .	33,5 (*)	22,8 (*)	35	24	35	10,0	0	0	—	41	45
Torino . . . . .	33,5 (*)	23,8 (*)	35	26	35	8,0	— 8	— 7	—	45	04
Trieste . . . . .	33	26	34	27	34	7,0	— 5	— 7	—	45	40
Venezia . . . . .	32,4 (*)	24,4 (*)	—	—	—	—	— 5	—	—	45	26

(\*) Condizioni di progettazione estive indicate dal «Foreign Trade Committee of the Air Conditioning and Refrigeration Institute», U.S.A.

(\*\*) Temperature esterne di progetto previste dal D.P.R. n. 1052. Regolamento di esecuzione alla legge 30 aprile 1976, n. 373 relativa al consumo energetico per usi termici negli edifici (cfr. Tav. A.19, Appendice).

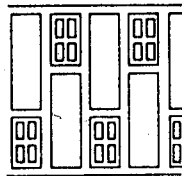
Tavola A.4 (1) Valori pratici dei coefficienti globali di trasmissione  $k$  ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ ) e dei pesi  $P$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) per varie strutture.

Nota importante: i valori di  $k$  sono indicati in **neretto** mentre i valori di  $P$  sono indicati **tra parentesi**.



Muri in mattoni pieni intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	12	25	38	51	64	77	90
1	muri esterni .....	2,5 (255)	1,7 (485)	1,3 (710)	1,1 (925)	0,9 (1150)	0,8 (1370)	0,7 (1590)
2	muri interni .....	1,9 (255)	1,3 (485)	1,0 (710)	0,9 (925)	0,7 (1150)	0,6 (1370)	—

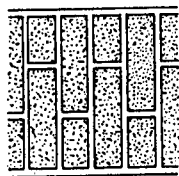


Muri in mattoni forati intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	6	8	12	25	38	51	64
3	muri esterni .....	2,9 (65)	2,6 (90)	2,2 (130)	1,45 (275)	1,0 (420)	0,8 (560)	0,7 (700)
4	muri interni .....	2,1 (65)	1,9 (90)	1,6 (130)	1,1 (275)	0,8 (420)	0,6 (560)	0,5 (700)

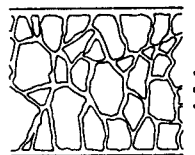
Tab 4.5

(1) I valori dei coefficienti di trasmissione  $k$  e i disegni delle varie strutture a cui si riferiscono sono ri-prodotti per autorizzazione dal «Manuale Ideal-Riscaldamento» Ideal-Standard, Milano, 1963.



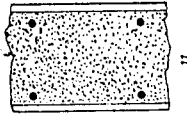
Muri in mattoni di pietra pomice intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	10	15	20	25	30
5	muri esterni .....	2,3 (130)	1,8 (170)	1,5 (210)	1,3 (250)	1,1 (290)



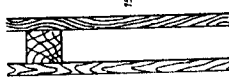
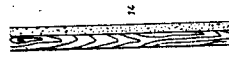
Muri in pietra intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	30	40	50	60	70	80	90
6	esterni in granito ..	2,8 (860)	2,5 (1130)	2,3 (1400)	2,1 (1670)	1,9 (1940)	1,8 (2210)	1,7 (2480)
7	esterni in arenaria ..	2,3 (710)	2,0 (930)	1,8 (1150)	1,6 (1370)	1,4 (1590)	1,3 (1810)	1,2 (2030)
8	esterni in tufo .....	1,9 (490)	1,6 (650)	1,4 (800)	1,2 (950)	1,1 (1100)	1,0 (1250)	0,9 (1400)



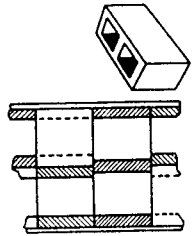
Muri in cemento armato intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	5	10	15	20	30	40	50
11	muri esterni .....	3,6 (170)	3,2 (290)	2,8 (410)	2,5 (530)	2,1 (770)	1,8 (1010)	1,6 (1250)



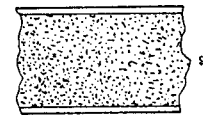
Pareti in legno

N°	Spessore, cm	2	4	7	10	15	20
12	esterne semplici .....	3,3 (12)	2,4 (24)	1,7 (42)	1,3 (60)	1,0 (90)	0,8 (120)
13	interne semplici .....	2,2 (12)	1,6 (24)	1,2 (42)	0,9 (60)	0,7 (90)	0,5 (120)
14	esterne con intonaco .	2,9 (32)	2,2 (44)	1,6 (62)	1,2 (80)	0,9 (110)	0,7 (140)
15	esterne con camera d'aria di 5 cm .....	—	1,5 (24)	1,2 (42)	0,9 (60)	0,7 (90)	0,6 (120)



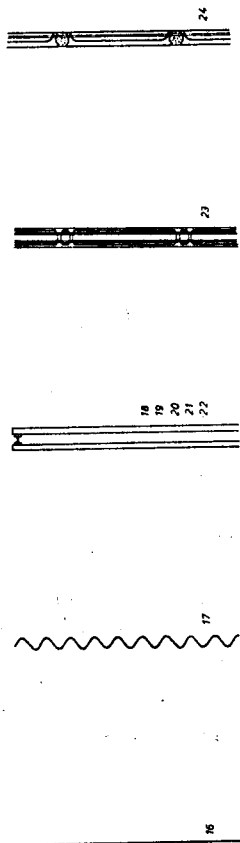
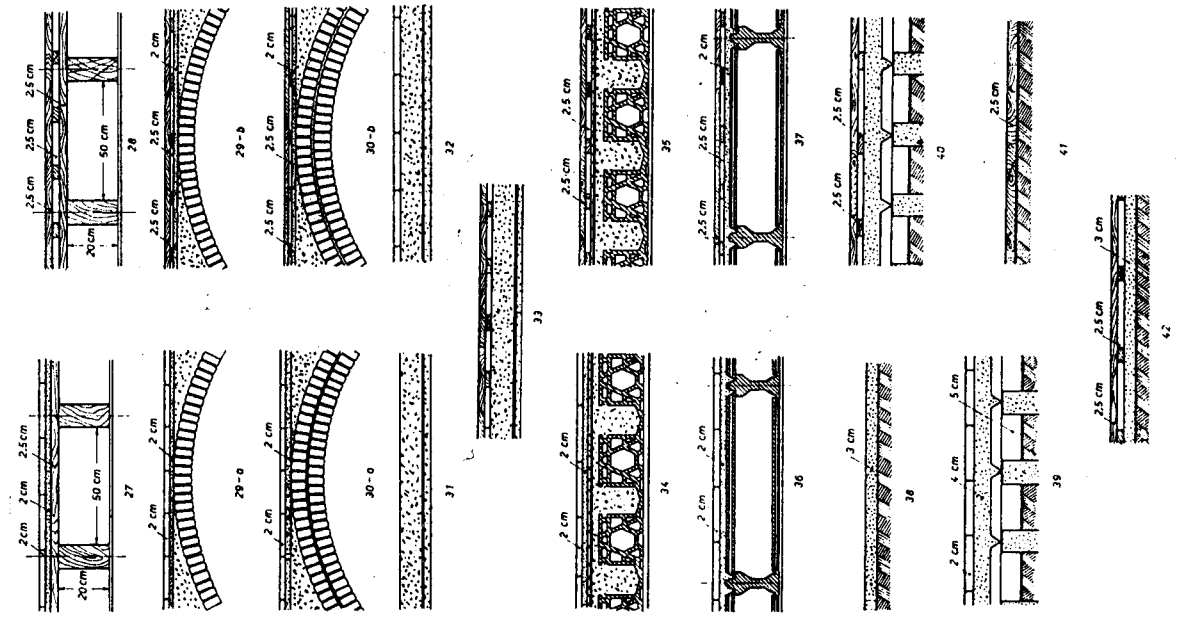
Muri in blocchi cavi di calcestruzzo intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	20	25	30	40	50	60
9	muri esterni .....	1,8 (180)	1,7 (215)	1,6 (250)	1,5 (320)	1,4 (390)	1,3 (460)



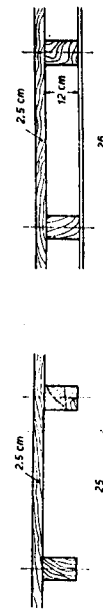
Muri in calcestruzzo intonacati sulle due facce

N°	Spessore, cm	10	15	20	30	40	50
10	muri esterni .....	3,0 (250)	2,7 (365)	2,4 (470)	2,0 (680)	1,7 (890)	1,5 (1100)



Pareti diverse

N°	Struttura	k	P
16	Lamiera di ferro liscia.....	7	(6)
17	Lamiera di ferro ondulata.....	10	(10)
18	Pannelli doppio vetro con intercapedine stagna	3,03	(-)
19	spessore intercapedine mm 6.....	2,74	(-)
20	spessore intercapedine mm 12.....	2,96	(-)
21	spessore vetro mm 4.....	2,68	(-)
22	spessore vetro mm 5.....	2,63	(-)
23	spessore vetro mm 6.....	4,8	(-)
24	Parete in vetrocemento con mattonelle piene.....	2,5	(70)



Pavimenti e soffitti

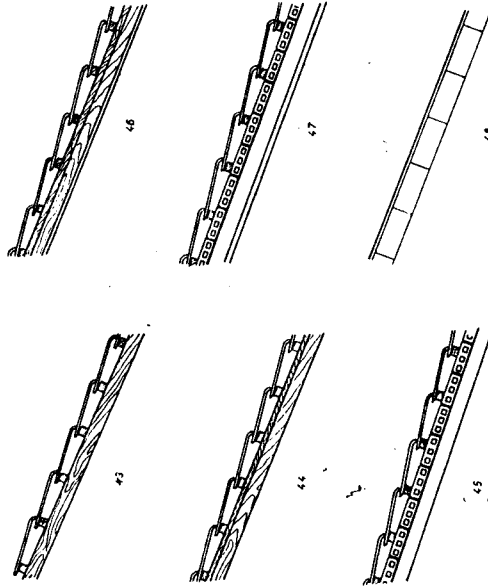
N°	Struttura	k		P
		Flusso di calore		
		Verso il basso (1)	Verso l'alto (1)	
25	Solaio in legno con travi a vista e coperture di tavole sigillate.....	1,7	2,1	(25)
26	idem con plafonatura.....	1,0	1,2	(45)

(1) In inverno, il flusso di calore è diretto verso il basso nel caso del pavimento, e verso l'alto nel caso del soffitto. Viceversa, in estate.

Pavimenti e soffitti

N°	Strutture	k		P
		Flusso di calore Verso il basso (°)	Verso l'alto (°)	
27	idem con plafonatura e copertura di piastrelle	0,8	1,0	(140)
28	idem con plafonatura e copertura di parquet	0,6	0,8	(85)
<i>Volte di mattoni</i>				
29	Da una testa, 12 cm di spessore	1,4	1,7	(300)
a	con pavimenti in piastrelle, cemento o pietra	0,8	1,0	(285)
b	con pavimenti in legno	0,8	1,0	(500)
30	Da due teste, 25 cm di spessore	0,8	1,0	(485)
a	con pavimento in piastrelle, cemento o pietra	0,7	0,8	
b	con pavimento in legno			
<i>Solette in cemento armato</i>				
31	Con semplice liscia di cemento:			
	spessore soletta cm 7,5	2,2	3,0	(220)
	» » cm 10	2,1	2,8	(280)
	» » cm 15	1,9	2,2	(400)
32	Con pavimenti in piastrelle o linoleum:			
	spessore soletta cm 7,5	2,1	2,8	(220)
	» » cm 10	2,0	2,6	(280)
	» » cm 15	1,8	2,3	(400)
33	Con pavimenti in legno:			
	spessore soletta cm 7,5	1,0	1,2	(205)
	» » cm 10			(255)
	» » cm 15			(375)
<i>Solai in laterizio armato</i>				
34	Con pavimenti in piastrelle o linoleum:			
	spessore laterizio cm 8	1,6	1,9	(185)
	» » cm 12	1,4	1,7	(210)
	» » cm 16	1,3	1,5	(230)
	» » cm 20	1,1	1,3	(275)
35	Con pavimenti in legno:			
	spessore laterizio cm 8	1,0	1,1	(170)
	» » cm 12	0,9	1,0	(195)
	» » cm 16	0,8	0,9	(215)
	» » cm 20	0,7	0,8	(260)
<i>Solai in travi vere e tavelloni</i>				
36	Plafonato con pavimento in piastrelle o linoleum	1,2	1,4	(360)
37	Plafonato con pavimento in legno	0,7	0,9	(345)
<i>Pavimenti sul suolo</i>				
38	Gettata di cemento sul suolo	2	—	(60)
39	Pavimento di piastrelle sostenuto da tavelloni su vespaio	1,7	—	(80)
40	Pavimento in legno sostenuto da tavelloni su vespaio	1,0	—	(55)
41	Pavimento in legno sul suolo con strato d'asfalto	1,5	—	(40)
42	Pavimento in legno sul suolo con camera d'aria	1,2	—	(85)

(\*) In inverno, il flusso di calore è diretto verso il basso nel caso del pavimento, e verso l'alto nel caso del soffitto. Viceversa, in estate.



Tetti

N°	Struttura	k	P	
			Tegole	Lamiera Eternit
43	Tetto di tegole, lamiere o eternit su travi e correntini	10	(40)	(6)
44	idem con assito sopra le travi	2,5	(50)	(16)
45	idem con tavelloni sopra le travi	3,1	(74)	(40)
46	idem con assito sopra le travi e plafonatura inferiore	1,6	(70)	(36)
47	idem con tavelloni sopra le travi e plafonatura inferiore	1,9	(94)	(60)
48	Tetto in laterizio armato con copertura di cartone catramato	2,1	(60)	(60)

Serramenti

N°	Tipo	k
	<i>Porte</i>	
49	Esterna in legno .....	3,5
50	Esterna in ferro .....	6,5
51	Porta-finestra semplice .....	5,0
52	Porta-finestra con vetri doppi .....	2,5
53	Porta interna .....	2,5
	<i>Finestre</i>	
54	Semplici con telaio in ferro .....	6,0
55	Semplici con telaio in legno .....	5,0
56	Telaio unico in ferro e doppi vetri .....	3,5
57	Telaio unico in legno e doppi vetri .....	2,5
58	Doppio telaio in ferro e doppi vetri .....	2,5
59	Doppio telaio in legno e doppi vetri .....	2,0
	<i>Lucernari e vetrate</i>	
60	Lucernario semplice esterno .....	6,5
61	Lucernario doppio esterno .....	3,0
62	Lucernario semplice interno .....	3,5
63	Lucernario doppio interno .....	2,0
64	Vetrata semplice esterna .....	6,0
65	Vetrata doppia esterna .....	3,0
66	Vetrata semplice interna .....	3,0
67	Vetrata doppia interna .....	2,0



Tabella 19.2a Condizioni di progettazione per impianti di condizionamento industriali (1)

Applicazione	Estate		Inverno	
	B.A. °C	U.R. %	B.A. °C	U.R. %
<b>Alimentari (prodotti):</b>				
bicarbonato di soda . . . . .	27	50	16-21	40-50
fabbricazione burro . . . . .	16	60	16	60
cereali . . . . .	16-27	38-50	16-27	35-50
succedanei del caffè . . . . .	24-27	40-45	24	40
mulino farina . . . . .	R.A.	60	21	60
pasta . . . . .	21-27	38	21-27	38
latte al malto . . . . .	27	35-40	27	35-40
maionese . . . . .	24	40-50	24	40
cultura funghi . . . . .	13-27	75	13-27	75
<b>Amiando:</b>				
cardatura . . . . .	R.A. (2)	55-60	21	55-60
filatura . . . . .	R.A.	60-75	21	60-65
tessitura . . . . .	R.A.	70	21	70
<b>Celle per animali (stabulari):</b>				
allevamento di piccoli animali . . . . .	26	50	26	50
<b>Cellofane:</b>				
fabbricazione . . . . .	24-27	65	21-24	65
avvolgimento, stampa . . . . .	24-27	55-65	21-24	55-65
<b>Ceramica:</b>				
sala di modellamento . . . . .	27	60	27	60
magazzinaggio argilla . . . . .	27	35-65	16-24	35-65
sala decorazione . . . . .	24-27	45-50	24-27	45-50
<b>Distillerie:</b>				
magazzino granaglie . . . . .	16	35-40	16	35-40
fabbricazione generale . . . . .	16-24	45-65	16-24	45-65
invecchiamento . . . . .	18-22	50-60	18-22	50-60
<b>Dolciaria (caramelle dure, ecc.):</b>				
fabbricazione . . . . .	18-27	35-50	18-24	35-50
raffreddamento . . . . .	24-27	40-45	24	40
pastiglie per la tosse . . . . .	18-24	40-45	18-24	40-45
marshmallows . . . . .	24	35	24	35
magazzino finiti . . . . .	16-24	45-55	16-24	45-55
<b>Dolciaria (cioccolato):</b>				
colata tavolette . . . . .	18	45-50	18	45-50
ripieni e creme . . . . .	24-29	50	24	50
croccanti . . . . .	18	50	18	50
imballo . . . . .	18	50	18	50
magazzino finiti . . . . .	16-21	40-50	16-21	40-50

(1) Da "Modern Air Conditioning", di Carrier, Cherno, Grant e Roberts. © 1967 della Pitman Publishing Corporation. Riproduzione autorizzata.  
(2) R.A. = Raffreddamento Adiabatico.

Applicazione	Estate		Inverno	
	B.A. °C	U.R. %	B.A. °C	U.R. %
<b>Elettrici (prodotti):</b>				
avvolgimento bobine e trasformatori . . . . .	16-27	15-35	16-27	15-35
montaggio tubi elettronici . . . . .	20	40	20	40
filamenti lampade . . . . .	24	45	24	45
strumenti elettrici . . . . .	24-26	50-55	24-26	50-55
assemblaggi a tolleranza ristretta . . . . .	22-24	40-50	22-24	40-50
isolamento cavi . . . . .	40	5	40	5
interruttori . . . . .	21-24	45-50	21-24	45-50
raddrizzatori . . . . .	21-24	30-40	21-24	30-40
<b>Essiccazione cuoio:</b>				
pelli . . . . .	32	—	32	—
concia vegetale . . . . .	21	75	21	75
concia al cromo . . . . .	49	45	49	45
<b>Farmacologica:</b>				
fabbrica ampolle . . . . .	27	35	27	35
essiccazione tappi bottiglie . . . . .	57	40-50	57	40-50
riempimento capsule . . . . .	24-27	35-40	24	35-40
colloidi . . . . .	21	30-50	21	30-50
sali deliquescenti . . . . .	24	30-35	24	30-35
essiccazione granuli . . . . .	54-71	20	54-71	20
sali effervescenti . . . . .	27-32	15-40	27-32	15-40
capsule gelatinose . . . . .	26	40-50	26	40-50
prodotti ghiandolari . . . . .	21-27	5-20	21-27	5-20
fabbricazione prodotti in polvere . . . . .	24-27	15-35	24-27	15-35
micro analisi . . . . .	24-27	45-50	24-27	45-50
agglomerazione tavolette . . . . .	21-27	35-40	21-27	35-40
ricoprimento tavolette . . . . .	24-27	35-40	24-27	35-40
sieri . . . . .	23-26	45-50	23-26	45-50
<b>Fiammiferi:</b>				
fabbricazione . . . . .	22-27	45-50	22	45-50
<b>Fotografico, materiale:</b>				
taglio . . . . .	22-24	60-65	22-24	60-65
sviluppo . . . . .	21-24	60	21-24	60
stampa . . . . .	23-24	65-70	23-24	65-70
magazzino finiti . . . . .	16-27	45-50	16-27	45-50
<b>Gomma:</b>				
cementazione . . . . .	27	25-30	27	25-30
immersione . . . . .	24-27	25-30	24-27	25-30
fabbricazione . . . . .	32	—	32	—

Applicazione	Estate		Inverno	
	B.A. °C	U.R. %	B.A. °C	U.R. %
	<i>Panificazione:</i>			
miscelazione pane . . . . .	24-27	45-55	24	45-55
fermentazione pane . . . . .	27	70-80	27	70-80
scatole di sicurezza . . . . .	32-35	80-95	32-35	80-95
raffreddamento pane . . . . .	21	70-80	21	70-80
impaccamento pane . . . . .	18-24	50-65	18	50-65
magazzino farina . . . . .	21-27	50-60	21	50-60
magazzino zucchero . . . . .	21-27	35	21	35
cake mixing . . . . .	21-24	65	21	65
glassatura torte . . . . .	21-27	45-50	21	45-50
<i>Plastiche, materie:</i>				
stampeggio a caldo . . . . .	16	25-30	16	25-30
<i>Stampa:</i>				
rilegatura . . . . .	21-24	45	21-24	45
composizione . . . . .	24-27	45-50	24	45-50
sala stampa . . . . .	24-27	45-50	24	45-50
sala stampa giornali . . . . .	24-27	50-55	24	50-55
magazzino rotoli . . . . .	24-27	50-55	24	50-55
<i>Tabacco-sigarette:</i>				
magazzino grezzo . . . . .	R.A.	75-78	27	75-78
trinciatura . . . . .	R.A.	80	21-27	80
magazzino tabacco trinciato . . . . .	27-29	60-65	27-29	60-65
manifattura . . . . .	21-27	55-65	21-27	55-65
imballo . . . . .	27-29	50	27-29	50
eliminazione dei gambi . . . . .	R.A.	70-75	27	70-75
essudazione . . . . .	50	80	49	80
<i>Tabacco-sigari:</i>				
invecchiamento . . . . .	32-38	65-70	32-38	65-70
magazzino sigari sciolti . . . . .	25	70	25	70
manifattura . . . . .	25	70	25	70
imballo . . . . .	25	60-65	25	60-65
scurimento . . . . .	25	70	25	70
immagazzinaggio (imballati) . . . . .	5	—	5	—
eliminazione dei gambi e trinciatura . . . . .	24-29	65-70	24	65-70
essudazione . . . . .	43-52	60-70	43-52	60-70

Applicazione	Estate		Inverno	
	B.A. °C	U.R. %	B.A. °C	U.R. %
	<i>Gomma da macinare:</i>			
raffreddamento . . . . .	22	50	22	50
essiccazione (chicle) . . . . .	50-60	50	50-60	50
spianamento . . . . .	22-24	50	22-24	50
incartamento e immagazzinaggio . . . . .	21-24	45-60	21	45-60
<i>Laboratori:</i>				
esperienze su animali . . . . .	24-27	40	24	40
generale analitico (condizioni standard A.S.T.M.) . . . . .	22-7	50	22,7	50
<i>Legno compensato:</i>				
fabbricazione . . . . .	R.A.	55-60	21	55-60
incollaggio . . . . .	R.A.	55-60	21	55-60
<i>Linoleum:</i>				
stampa . . . . .	27	40-50	27	40-50
<i>Litografica:</i>				
preparazione lastre . . . . .	24	45-50	24	45-50
condizionamento carta . . . . .	24-27	50-60	24	50-60
sala stampa . . . . .	24-27	45-50	24	45-50
bronzatura . . . . .	24-27	45-50	24	45-50
<i>Maglieria aperta</i>				
controllo . . . . .	27	50	21	50
finissaggio . . . . .	27	50	21	50
preparazione maglieria . . . . .	27	70	27	70
imballo . . . . .	27	50	21	50
ripresa umidità . . . . .	32	90-100	32	95-100
<i>Maglieria tubolare:</i>				
finissaggio . . . . .	32/35	—	32-35	—
preparazione maglieria . . . . .	R.A.	70	21-22	70
imballo . . . . .	R.A.	70	18-21	70
<i>Mecanica di precisione:</i>				
taglio ingranaggi . . . . .	24-27	45-50	24	45-50
parti di precisione . . . . .	24	45-50	24	45-50
<i>Musei e gallerie</i>				
. . . . .	25-27	40-50	21-23	40-50
<i>Optica:</i>				
fusione . . . . .	24	45	24	45
molatura . . . . .	27	80	27	80

Tabella 19.2 b Condizioni per impianti di condizionamento tessili (Radzelis)

Applicazione	Estate		Inverno	
	B.A. °C	U.R. %	B.A. °C	U.R. %
<i>Tessile-cotone:</i>				
cardatura . . . . .	R.A.	50-55	21-24	50-55
pettinatura . . . . .	R.A.	55-65	21-24	55-65
stratura . . . . .	R.A.	55	21-24	55
raccolta . . . . .	R.A.	45-50	21-24	45-50
preparazione stoppino . . . . .	R.A.	50-60	21-24	50-60
filatura ordito . . . . .	R.E.	60	21-24	60
filatura trama . . . . .	R.A.	70	21-24	70
roccatura . . . . .	R.A.	60-65	21-24	60-65
torcitura . . . . .	R.A.	65	21-24	65
fissaggio torsioni . . . . .	R.A.	95	35-38	95
orditura . . . . .	R.A.	75-85	21-24	75-80
<i>Tessile-lana:</i>				
carderia . . . . .	R.A.	65-70	21-24	65-70
pettinatura . . . . .	R.A.	65	21	65
ripresa umidità . . . . .	21	85-90	21	85-90
stiro . . . . .	R.A.	50-60	24	50-60
filatura . . . . .	R.A.	65	24	65
tessitura . . . . .	R.A.	50-55	21-24	50-55
<i>Tessile-lino:</i>				
cardatura . . . . .	24-27	60	24	60
filatura . . . . .	24-27	60	24	60
tessitura . . . . .	26-27	80	26-27	80
<i>Tessile-Rayon (viscosa):</i>				
maturazione alcalicellulosa . . . . .	18	—	18	—
pesatura e classificazione . . . . .	27	55	27	55
maturazione viscosa . . . . .	22	—	22	—
filatura . . . . .	21-24	85	21-24	85
ritorcitura . . . . .	21	60	21	60
orditura e spolatura . . . . .	27	55	27	55
tessitura . . . . .	21-24	60-75	21-24	60
solfurazione . . . . .	26	—	26	—
<i>Tessile-seta:</i>				
imbozzimatura . . . . .	21-24	60-65	21-24	60-65
filatura . . . . .	21-24	65-70	21-24	65-70
ritorcitura . . . . .	21-24	65-75	21-24	65-75
tessitura . . . . .	21-24	60-70	21-24	60-70

COTONE E TECNOFIBRE	Temp. °C	umidità relativa U.R. %	
		viscosa	nylon
Mag. deposito	—	65 e più	70 e più
Apritoli	22	45/55	65/75
Battitura	22 a 28	45/55	60/65
Carderia	22 o più	45/55	60/75
Pettinatura	24	50/60	60/70
Prep. filatura	25/30	60/65	60/70
Filatura	22	70/80	60/70
Tessitura	20/24	60/70	60/80
Maglieria	24 e più	60/70	60/80
N.E. Cotone sbiancato:	22 o più	60/80	60/80
Carderia (alte lavorazioni come cotone greggio)	—	viscosa 50 a 60	nylon 70 e più
Mag. deposito	22 e più	50/55	50/60
Apritoli	22 o più	50/60	60/60
Battitura	22 o più	50/60	60/65
Carderia	22 a 26	50/60	60/75
Pettinatura	24	55/60	70/80
Prep. filatura	25/30	60/70	65/80
Filatura	20/24	60/70	65/75
Tessitura	20/24	70/80	70/80
LANA E TECNOFIBRE		viscosa 50 a 60	nylon 70 e più
Sfilacciatura	—	60/65	casacme cotone
Carderia	22 o più	60/75	—
Filatura	22/26	70/75	65/75
Prep. tessitura	20 o più	60/70	60/70
Tessitura	20 o più	60/70	—
Lana		francese Sist. 70/80	Fiocco taglio laniero
cardata	22/30	70/80	—
Lana	22/30	70/80	70/75
pettinata	30	60/70	—
Prep. filatura	20 e più	75/85	75/80
Prep. tessitura	20 e più	60/70	60/70
Tessitura	20 e più	60/70	60/70
Seta		60/70	60/70
naturale	22 e più	65/75	65/75
e	24 e più	65/75	65/75
artificiale	22/27	60/70	60/70
Maglieria	22/27	60/70	60/70
Maglieria	27	60/70	60/70
Nylon		—	—
FiL. (cheminée)	18 (*)	72 (*)	72 (*)
FiL. (renvidage)	22 (*)	72 (*)	72 (*)
Stratolo	24 (*)	65	65
Incannaggio	22/29	65	65
Torcitura	23/29	50	50
Collaggio	30	65	65
Roccatura	25/29	65	65
Laboratorio	22	65	65

(\*) Condizioni dell'aria direttamente soffiata nelle macchine.

Tabella 2.5 Condizioni ambiente consigliate (1) — Estive ed invernali.

Tipo di applicazione	ESTATE					INVERNO (2)				
	di lusso		normali			con umidificazione				
	Bulbo asciutto °C	umidità relativa %	Bulbo asciutto °C	umidità relativa %	Escursione termica (3) °C	Bulbo asciutto °C	umidità relativa %	Escursione termica °C	senza umidificazione	Escursione termica (4) °C
<i>Comfort</i> (appartamenti, alberghi, uffici, ospedali, ecc.) . . . . .	23 ÷ 24	50 ÷ 45	25 ÷ 26	50 ÷ 45	da 1 a 2	(20 ÷ 22) 23 ÷ 24	(50 ÷ 40) 35 ÷ 30	—1,5 ÷ —2	(21 ÷ 23) 24 ÷ 25	— 2
<i>Negozi</i> (banche, barbiere, magazzini generali, ecc.) . . . . .	24 ÷ 26	50 ÷ 45	26 ÷ 27	50 ÷ 45	da 1 a 2	(20 ÷ 21) 22 ÷ 23	(50) 35 ÷ 30(5)	—1,5 ÷ —2	(21 ÷ 22) 23 ÷ 24	— 2
<i>Applicazioni</i> con basso fattore termico — elevato carico latente — (teatri, bar, ristoranti, ecc.) . . . . .	24 ÷ 26	55 ÷ 50	26 ÷ 27	60 ÷ 50	da 0,5 a 1	(20 ÷ 21) 22 ÷ 23	(50 ÷ 60) 40 ÷ 35	—1,5 ÷ —2	(20 ÷ 22) 23 ÷ 24	— 2
<i>Officine</i> . . . . .	25 ÷ 27	55 ÷ 45	26 ÷ 29	60 ÷ 50	da 1,5 a 3	(15 ÷ 18) 20 ÷ 22	(60 ÷ 50) 35 ÷ 30	—2 ÷ —3	(15 ÷ 20) 21 ÷ 23	— 3

© 1960 Carrier Corporation — Riprodotta per autorizzazione della Carrier Corporation, Syracuse, New York, U.S.A.  
 (1) La temperatura ambiente al bulbo asciutto dovrebbe essere ridotta in estate quando le persone si trovano in presenza di superfici radianti calde (vetri senza schermi, vetro-cemento, ecc.). Il contrario vale per l'inverno.  
 (2) Le condizioni invernali indicate tra parentesi sono state normalmente adottate in Italia e sono state aggiunte alla tabella originale Carrier, che prescrive temperature invernali più elevate. La legge 30 Aprile 1976 sul contenimento dei consumi energetici e il relativo Regolamento di applicazione (cfr) hanno limitato tuttavia la temperatura massima adottabile per gli ambienti riscaldati in 20 °C + 1 °C.  
 (3) L'escursione termica è al disopra del punto di regolazione del termostato in condizioni di carico massimo estivo.  
 (4) L'escursione termica è al disotto del punto di regolazione del termostato in condizioni di carico massimo invernale (assenza di luci e di persone).  
 (5) Si raccomanda l'umidificazione invernale nei negozi tessili, per mantenere la qualità dei tessuti.

Tab 4.7

**3 - CALORE CONTENUTO NELL'ARIA NON TRATTATA (by-pass batteria):**

Fattore di by-pass:

$$BF = 0,67n$$

Dove:

n = numero di ranghi della batteria ( usualmente 3 )

Portata d'aria di rinnovo:

$$G(E) = n_p \times g_p = S \times g_s$$

Dove:

n<sub>p</sub> = numero di persone ( Tab 4.7 )

g<sub>p</sub> = portata d'aria di rinnovo per persona ( Tab 4.10/11 )

S = superficie calpestabile [ m<sup>2</sup> ]

g<sub>s</sub> = portata d'aria di rinnovo per m<sup>2</sup> ( Tab 4.10 )

Calore contenuto nell'aria non trattata:

$$Q_{SBF} = G(E) \times BF \times (T_{est} - T_{int}) \times c_s$$

G<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo ( punto E )

BF = fattore di by-pass della batteria

T<sub>est</sub> = temperatura esterna di progetto (35°C) ( Tab 4.6 )

T<sub>int</sub> = temperatura interna di progetto (26°C) ( Tab 4.7/8 )

c<sub>s</sub> = calore specifico dell'aria [ 1,2 kJ/( m<sup>3</sup> °C ) ]

**4 - CALORE SVILUPPATO DALLE PERSONE IN AMBIENTE:**

$$Q_{Sa} = q_{Sp} \times n_p$$

Dove:

q<sub>Sp</sub> = calore sensibile emesso da ogni persona ( Tab 4.9 )

n<sub>p</sub> = numero di persone

Calore emesso dalle persone, in media, alle diverse attività

Attività della persona	W (kcal/h)				Vapore acquoso emesso g/h		
	Totale		Sensibile			Latente	
Seduto, in riposo	112	(96)	66	(57)	46	(39)	65
Seduto, lavoro molto leggero	116	(100)	70	(60)	46	(40)	66
In piedi, in riposo	126	(108)	66	(57)	60	(51)	85
Cucitrice a mano, seduta	129	(111)	66	(57)	63	(54)	90
Impiegato, attività moderata	134	(115)	70	(60)	61	(55)	92
Sarto	141	(121)	66	(57)	75	(64)	107
Persona che passeggia lentam.	145	(125)	75	(65)	70	(60)	100
Orchestrante	143	(123)	66	(57)	77	(66)	110
Dattilografo rapido	163	(140)	66	(57)	97	(83)	138
Lavoro sedentario	163	(140)	70	(60)	93	(80)	133
Calzolaio	193	(166)	66	(57)	97	(83)	182
Lavoro al banco (leggero)	221	(190)	70	(60)	151	(130)	217
Lucidatore di mobili	256	(220)	81	(70)	175	(150)	250
Falegname	280	(240)	90	(77)	190	(163)	272
Camieriere di ristorante	290	(250)	95	(82)	195	(168)	280
Ballerino in danza lenta	221	(190)	73	(63)	148	(127)	212
Ballerino in danza vivace	407	(350)	132	(114)	275	(236)	392
Persona chesi muove a 5 km/h	291	(250)	95	(82)	196	(168)	280
Lavoro pesante	442	(380)	151	(130)	291	(250)	417

Tab 4.9

Tabella 2.6 Portate d'aria esterna di ventilazione.

TIPO DEI LOCALI	FUMO	m <sup>3</sup> /h PER PERSONA		m <sup>3</sup> /h per m <sup>2</sup> di pavimento
		consigliato	minimo	
Appartamenti - comuni . . . . .	parecchio	35	17	—
- di lusso . . . . .	parecchio	35	17	6
Locali di banca . . . . .	saltuario	17	13	—
Barbieri . . . . .	considerevole	25	17	—
Istituti di bellezza . . . . .	saltuario	17	13	—
Uffici di mediatori di commercio (borsa titoli) . . . . .	moltissimo	85	35	—
Bar . . . . .	molto	68	43	—
Corridoi (irmissione o aspirazione)	—	—	—	4,5
Grandi magazzini . . . . .	niente	13	8,5	1
Stanze per direttori . . . . .	moltissimo	85	50	—
Farmacie . . . . .	considerevole	17	13	—
Fabbriche (1) . . . . .	niente	17	13	1,8
Magazzini a prezzo fisso . . . . .	niente	13	8,5	—
Sale funerarie . . . . .	niente	17	13	—
Garage (1) . . . . .	—	—	—	18
- Sale operatorio (1) . . . . .	niente	—	—	40
Ospeda. - Sale di degenza (pochi ammalati) . . . . .	niente	50	43	6
- Padiglioni (molti ammalati) . . . . .	niente	35	25	—
Stanze di albergo . . . . .	molto	50	43	6
- di ristoranti . . . . .	—	—	—	72
Cucine - di appartamenti . . . . .	—	—	—	36

TIPO DEI LOCALI	FUMO	m <sup>3</sup> /h PER PERSONA		m <sup>3</sup> /h per m <sup>2</sup> di pavimento
		consigliato	minimo	
Laboratori . . . . .	parecchio	35	25	—
Sale di adunanze . . . . .	moltissimo	85	50	22,5
- Generali (parecchi impiegati)	parecchio	25	17	—
- Singoli . . . . .	niente	25 (4)	20 (4)	4,5
- Singoli . . . . .	considerevole	42 (4)	25 (4)	4,5
- Bar . . . . .	considerevole	20	17	—
Ristoranti - Sale da pranzo . . . . .	considerevole	25	20	—
Aule scolastiche (1) . . . . .	niente	—	—	—
Negozi vendita al dettaglio . . . . .	niente	17	13	—
Teatri (1) . . . . .	niente	13	8,5	—
Teatri (1) . . . . .	parecchio	25	17	—
Bagni . . . . .	—	—	—	36

Riprodotta per autorizzazione dell'ASHRAE Guide and Data Book, 1965 e 1966.  
 (1) Vedere quanto stabilito dalle diverse norme locali.  
 (2) Usare questi valori a meno che non si debba adottarne altri per presenza di esalazioni che inquinano l'aria o per uniformarsi a norme locali.  
 (3) È raccomandata l'immissione di sola aria esterna per scongiurare il pericolo di esplosione degli anestetici.  
 (4) Valori modificati rispetto alla Guide.

Tabella 2.9 Portate di aria di ventilazione. ASHRAE Standard 62-73\*

	Persone previste per 100 m <sup>2</sup> di pavimento. Da usarsi solo quando l'affollamento effettivo non è noto	Portata d'aria di ventilazione, m <sup>3</sup> /h per persona (quando il numero è tra parentesi, riferirsi alle note)	
		minima	raccomandata
<i>Appartamenti</i>			
Soggiorno, camere da letto	7	8,5	12 ÷ 17
Cucina (1)	—	34	50 ÷ 85
Bagno, toilette (1)	—	34	50 ÷ 85
Garage (4)	—	(27,5)	(36) ÷ (55)
<i>Grandi magazzini</i>			
Piani di vendita (terreno e seminterrato)	32	12	17 ÷ 25,5
Piani di vendita (piani superiori)	21	12	17 ÷ 25,5
Magazzino	5	12	17 ÷ 25,5
Ascensori	—	12	17 ÷ 25,5
<i>Supermarkets, ecc.</i>			
Locali lavorazione carne (3)	10	8,5	8,5
<i>Negozi specializzati</i>			
Animali (2)	—	(18,3)	(27 ÷ 36)
Fiorista (4)	10	8,5	12
<i>Banche (vedere locali di vendita e uffici)</i>			
Locale cassette sicurezza	—	8,5	8,5
<i>Ristoranti, ecc.</i>			
Sala da pranzo	75	17	25,5 ÷ 34
Cucina (6)	21	51	60
Caffè, snack bar, tavola calda	107	51	60
Bar (avventori in piedi)	160	51	68 ÷ 85
<i>Alberghi, Motel</i>			
Camere da letto (singole, doppie)	5	12	17 ÷ 25,5
Soggiorni	21	17	25,5 ÷ 34
Bagni, toilette (annessi alle camere da letto) (1)	—	34	51 ÷ 85

(\*) Ricavato per autorizzazione dell'ASHRAE Standard 62-73.

(1) Si tiene già conto dell'uso intermittente.

(2) m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> di area di pavimento.

(3) I locali mantenuti a bassa temperatura (da -23 °C a +10 °C) non sono contemplati in questo specifico, a meno che siano costantemente occupati. È consentita la ventilazione dai locali adiacenti. Se l'affollamento è intermittente, l'infiltrazione cederà normalmente le esigenze di ventilazione.

(4) La concentrazione massima ammissibile per l'anidride solforosa è pari a 30 µg/m<sup>3</sup>.

(5) Necessità di impianti di espulsione.

	Persone previste per 100 m <sup>2</sup> di pavimento. Da usarsi solo quando l'affollamento effettivo non è noto	Portata d'aria di ventilazione, m <sup>3</sup> /h per persona (quando il numero è tra parentesi, riferirsi alle note)	
		minima	raccomandata
<i>Corridoi</i>	5	8,5	12 ÷ 17
Spazi pubblici	32	12	17 ÷ 25,5
Sale riunioni (piccole)	75	34	42,5 ÷ 51
Sale riunioni (grandi)	150	25,5	34 ÷ 42,5
Toilette per il pubblico	107	25,5	34 ÷ 42,5
<i>Saloni di bellezza, ecc.</i>			
Saloni di bellezza (parrucchiere)	54	42,5	51 ÷ 59,5
Palestre	21	42,5	51 ÷ 59,5
Saune	—	8,5	8,5
Barbieri	27	12	17 ÷ 25,5
<i>Fotografi</i>			
Studio fotografico (6)	10	8,5	12 ÷ 17
Camera oscura	10	17	25,5 ÷ 34
<i>Stazioni di servizio</i>			
Autolinee, Autoriparazioni, Officine (chiuse) (7)	—	(27)	(36) ÷ (55)
Officine autoparazioni (7) (8)	—	(27)	(36) ÷ (55)
Uffici stazioni di servizio	21	12	17 ÷ 25,5
<i>Teatri, Cinema</i>			
Biglietterie	—	8,5	12 ÷ 17
Spazi pubblici (Foyer)	160	34	42,5 ÷ 51
Auditorio (vietato fumare)	160	8,5	8,5 ÷ 17
Auditorio (permesso fumare)	160	17	17 ÷ 34
Palcoscenico (con proscenio e sipario) (9) (9)	75	17	20,5 ÷ 25,5
Toilette per il pubblico	107	25,5	34 ÷ 42,5
<i>Sale da ballo</i>			
Bowling	107	25,5	34 ÷ 42,5
<i>Palestra e Palazzetti dello Sport</i>			
Zona di gioco	75	34	42,5 ÷ 51
Camere armadietti (10)	21	(55)	(68 ÷ 85)
Zone spettatori	161	34	42,5 ÷ 51
Foyer, Rampe	161	17	25,5 ÷ 34

(6) Esigenze probabilmente determinate da effetti termici.

(7) m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> di pavimento.

(8) Le postazioni per la prova dei motori devono essere provviste di impianti di scarico dei gas combustibili.

(9) Per eliminare i contaminanti dovuti all'effetto palcoscenico\* si richiede una speciale ventilazione.

(10) m<sup>3</sup>/h per armadietto.

	Persone previste per 100 m <sup>2</sup> di pavimento. Da usarsi solo quando l'affollamento effettivo non è noto	Portata d'aria di ventilazione, m <sup>3</sup> /h per persona (quando il numero è tra parentesi, riferirsi alle note)	
		minima	raccomandata
<i>Campi da tennis (coperti)</i>	—	34	42,5 ÷ 51
<i>Piscine (coperte) (11)</i>	27	25,5	34 ÷ 42,5
<i>Piste di pattinaggio (11)</i>	75	17	25,5 ÷ 34
<i>Piste per skittinare (11)</i>	75	17	25,5 ÷ 34
<i>Uffici</i>			
Generali	10	25,5	25,5 ÷ 42,5
Sale conferenze	65	42,5	51 ÷ 68
Sale disegnatori	21	12	17 ÷ 25,5
Ambulatorio medico	—	17	25,5 ÷ 34
Sale d'attesa (Dottori, Agenzie di impiego, ecc.) (12)	32	17	25,5 ÷ 34
Centri meccanografici	32	8,5	12 ÷ 17
Sale perforazione schede	32	12	17 ÷ 20,5
Toilette per il pubblico	107	25,5	34 ÷ 42,5
<i>Scuole</i>			
Aule	54	17	17 ÷ 25,5
Laboratori (13)	32	17	17 ÷ 25,5
Auditori	161	8,5	8,5 ÷ 13
Palestre	75	34	42,5 ÷ 51
Biblioteche	21	12	17 ÷ 20,5
Uffici	10	12	17 ÷ 25,5
Toilette	107	25,5	34 ÷ 42,5
Mense	107	17	25,5 ÷ 34
Corridoi	54	25,5	34 ÷ 42,5
Dormitori	21	12	17 ÷ 25,5
<i>Ospedali</i>			
Spazi pubblici	54	34	42,5 ÷ 51
Camere singole o doppie	15	17	25,5 ÷ 34
Corsie	21	17	25,5 ÷ 34
Sale operatorie, sale parto (14)	—	34	—
Anfiteatri	107	17	25,5 ÷ 34
Camere di terapia fisica	21	25,5	34 ÷ 42,5
Camere autopsia	21	51	68 ÷ 85
Per negozi, ristoranti, cucine, bagni ecc. vedere la voce Alberghi	40		

(11) Lo stesso per strutture aero-sportate.

(12) È necessario provvedere alla espulsione di eventuali sostanze tossiche.

(13) Può essere necessario predisporre sistemi di controllo dei contaminanti.

(14) Il fabbisogno può essere imposto da speciali normative.



**5 - CALORE SVILUPPATO DALL'ILLUMINAZIONE E DA MACCHINE ELETTRICHE:**

$$Q_{Se} = f_{ill} \times S_{ill} + q_{me} \times n_{me}$$

Dove:

$f_{ill}$  = fattore di illuminazione ( Tab 4.12 ) [ 30 W/m<sup>2</sup> ]

$S_{ill}$  = superficie illuminata

$q_{me}$  = calore emesso da ogni macchina ( Tab 4.9 )

$n_{me}$  = numero di macchine elettriche ( ipotizzare )

Calore diffuso nel locale da diverse sorgenti

Sorgente di calore	Sensibile		Latente	
	W	kcal/h	W	kcal/h
Riscaldatori a resistenza elettr. (per kW ass.).....	1000	860	0	0
Illuminaz. elettr. a lampadine (per kW ass.).....	1000	860	0	0
Motori elettr. (per kW assorb.; $\eta$ = rendimento) .....	1000(1 - $\eta$ )	860(1 - $\eta$ )		0
Tostatrice di caffè .....	90%	90%	10%	10%
Macchina da caffè espresso, in media	580	500	580	500
Asciugatore capelli da 600 watt .....	600	520	0	0
Casco da parrucchiere .....	580	500	0	0
Stufa a gas, fiamme a gas in generale (circa 4000 kcal totali per m <sup>3</sup> di gas consumato) .....	65%	65%	35%	35%
Vivande servite a tavola, per persona	9	8	9	8

Tab 4.12

**6 - CALORE SENSIBILE TOTALE TEORICO SVILUPPATO:**

$$Q_S = \Sigma Q_S - Q_{SBF}$$

Dove:

$Q_S$  = rappresenta tutti i calori sensibili ricavati

$Q_{SBF}$  = calore sensibile di by-pass

**7 - CALORE SENSIBILE TOTALE EFFETTIVO SVILUPPATO:**

$$Q_{Seff} = \Sigma Q_S + 10\%$$

Dove:

$Q_S$  = rappresenta tutti i calori sensibili ricavati

10% = rappresenta un margine di sicurezza

**FONTI DI CALORE LATENTE:**

**1 - CALORE SVILUPPATO DALLE PERSONE IN AMBIENTE:**

$$Q_{La} = q_{Lp} \times n_p$$

Dove:

$q_{Lp}$  = calore latente emesso da ogni persona ( Tab 4.9 )

$n_p$  = numero di persone

**2 - CALORE CONTENUTO NELL'ARIA NON TRATTATA ( by-pass batteria ):**

Fattore di by-pass:

$$BF = 0,67^n$$

Dove:

n = numero di ranghi della batteria ( usualmente 3 )

Calore contenuto nell'aria non trattata:

$$Q_{LBF} = G_{(E)} \times BF \times (x_{(E)} - x_{(A)}) \times c_{lv} \times \gamma$$

G<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo ( punto E )

BF = fattore di by-pass della batteria

x<sub>(E)</sub> = umidità assoluta nel punto Ex<sub>(A)</sub> = umidità assoluta nel punto Ac<sub>lv</sub> = calore latente di vaporizzazione dell'H<sub>2</sub>O (2512 J/g)γ = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**3 - CALORE LATENTE TOTALE TEORICO SVILUPPATO:**

$$Q_L = Q_{La}$$

**4 - CALORE LATENTE TOTALE EFFETTIVO SVILUPPATO:**

$$Q_{Leff} = \Sigma Q_L + 5\%$$

Dove:

Q<sub>L</sub> = rappresenta tutti i calori latenti ricavati

5% = rappresenta un margine di sicurezza

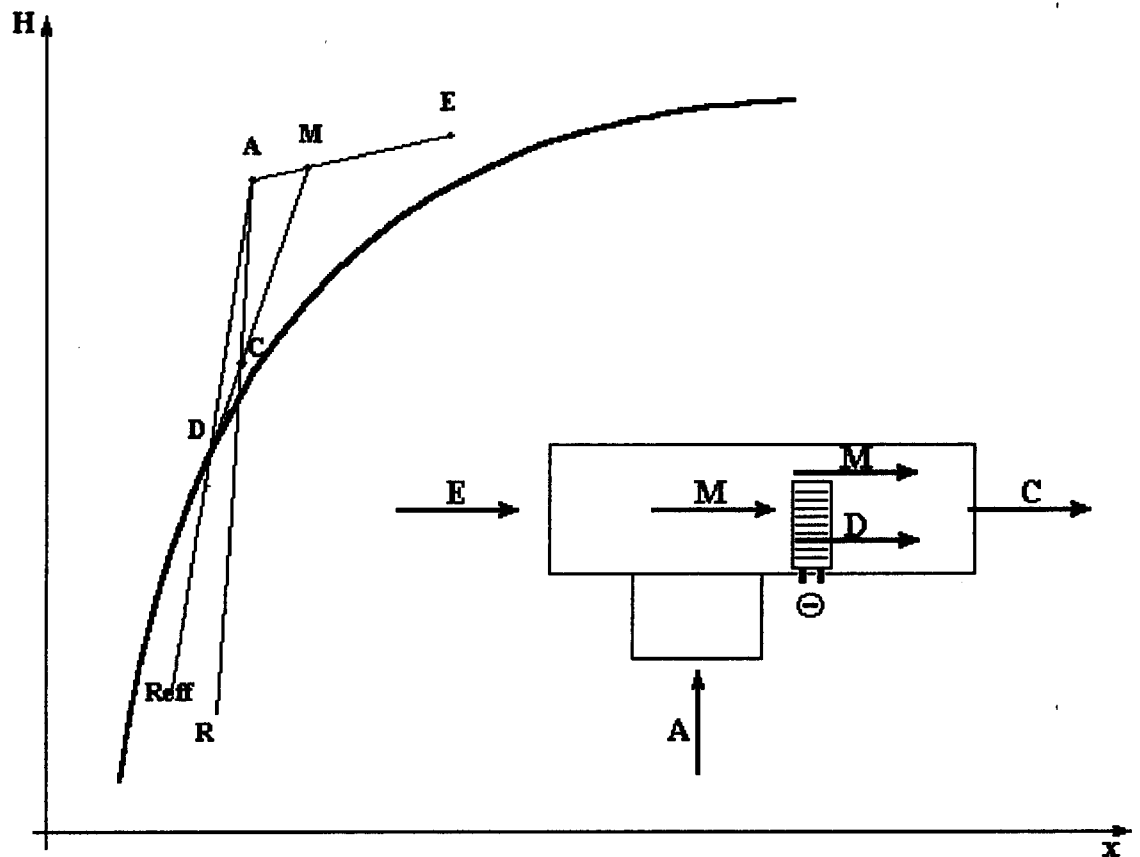
**FATTORE TERMICO AMBIENTE TEORICO:**

$$R = \frac{Q_s}{Q_s + Q_L}$$

**FATTORE TERMICO AMBIENTE EFFETTIVO:**

$$R_{eff} = \frac{Q_{seff}}{Q_{seff} + Q_{Leff}}$$

**4.2 - TRATTAMENTO DELL'ARIA CON  $R_{eff}$  CHE TOCCA LA CURVA:**



Graf 4.1

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente di ricircolo
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- M = punto caratteristico dell'aria di Miscela fra quella ambiente e quella esterna
- D = punto di rugiada dell'apparato ( temperatura superficiale della batteria )
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento (  $t_c > 20^\circ\text{C}$  )

Calcolato il valore di  $R_{eff}$  si fa passare per A la retta parallela alla congiungente il valore di  $R_{eff}$  con il punto  $t = 0^\circ\text{C}$  sul grafico. Tale retta incontrandosi con la curva corrispondente ad  $U_r = 100\%$  individua il punto di rugiada D dell'apparato. Lo stesso procedimento lo si fa con R. La retta R incrociandosi con la congiungente M-D individua il punto C. Se  $t_c$  è inferiore ai  $20^\circ\text{C}$  si ipotizza una nuova temperatura e si fa un post-riscaldamento: il ciclo risulta essere simile al 4.3 più avanti riportato.

**FATTORE DI BY-PASS:**

$$BF = \frac{CD}{MD}$$

Dove:  
 CD= lunghezza del segmento cd  
 MD = lunghezza del segmento md

Oppure:

$$BF = \frac{T_C - T_D}{T_M - T_D}$$

Dove:  
 T = temperature nei vari punti del grafico

**PORTATA D'ARIA DA DEUMIDIFICARE:**

$$G_{(M)} = Q_{\text{Seff}} / [(1 - BF) \times (T_{(A)} - T_{(D)}) \times c_s ]$$

Dove:

 $T_{(A)}$  = temperatura nel punto A [°C] $T_{(D)}$  = temperatura nel punto D [°C] $c_s$  = calore specifico dell'aria [ 1200 J/( m<sup>3</sup> °C ) ]**ARIA DI RICIRCOLO ( punto A ):**

$$G_{(A)} = G_{(M)} - G_{(E)}$$

Dove:

 $G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M $G_{(E)}$  = portata d'aria di rinnovo punto E**PUNTO DI MISCELA:**

$$x_{(M)} = \frac{G_{(A)} \times x_{(A)} + G_{(E)} \times x_{(E)}}{G_{(M)}}$$

Dove:

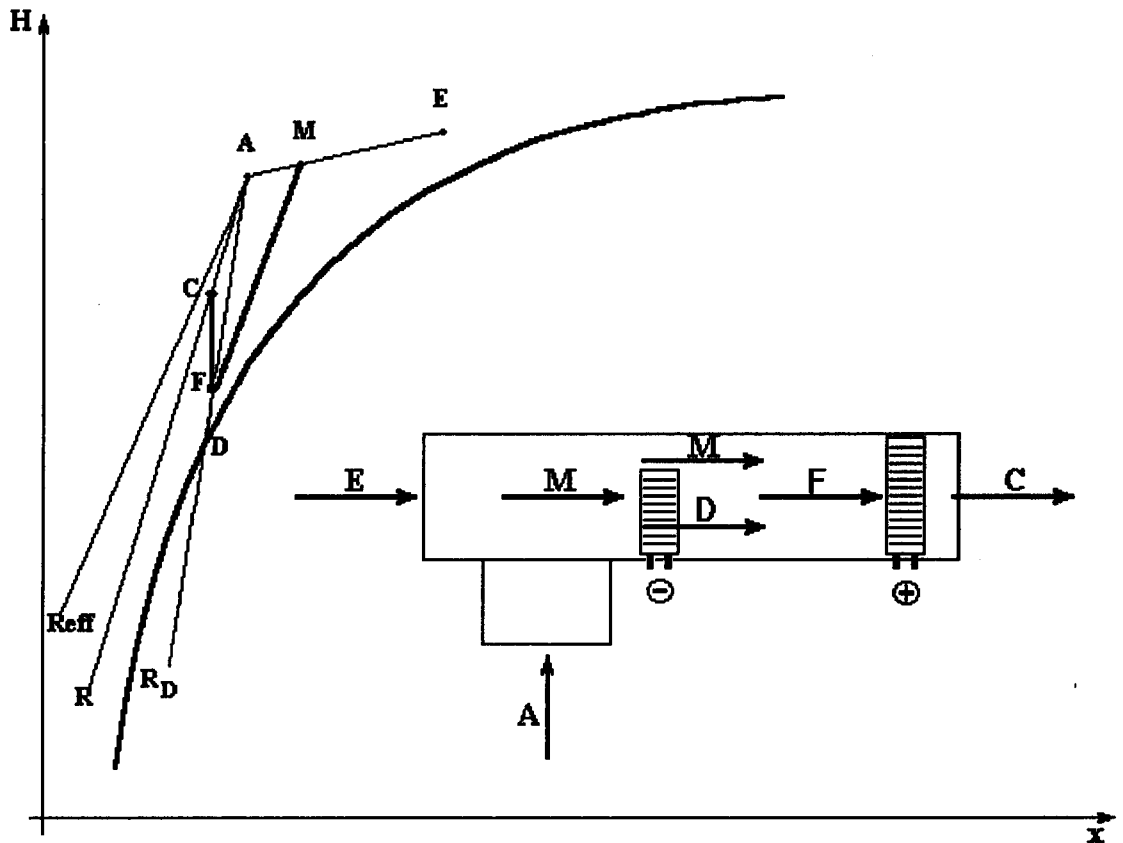
 $G_{(A)}$  = portata d'aria di ricircolo punto A $G_{(E)}$  = portata d'aria di rinnovo punto E $G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M $x$  = umidità assoluta nei punti [ g<sub>v</sub> / kg<sub>a</sub> ]**POTENZA FRIGORIFERA NECESSARIA PER IL TRATTAMENTO:**

$$P_f = ( H_{(M)} - H_{(C)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(M)}$  = entalpia dell'aria da deumidificare punto M $H_{(C)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto C $G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

**4.3 - TRATTAMENTO DELL'ARIA CON  $R_{eff}$  CHE NON TOCCA LA CURVA:**



Graf 4.2

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente di ricircolo
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- M = punto caratteristico dell'aria di Miscela fra quella ambiente e quella esterna
- D = punto di rugiada dell'apparato ( temperatura superficiale della batteria da ipotizzare [ 10 °C ] )
- F = punto caratteristico dell'aria dopo la deumidificazione/refrigerazione
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento (  $t_c > 20^{\circ}\text{C}$  )

Ipotizzata la temperatura di rugiada dell'apparato (  $t_D$  ) si traccia la retta che congiunge il punto A con D. Tale retta, se traslata fino ad incrociare il punto sul grafico  $t = 0^{\circ}\text{C}$ , individua un valore di fattore termico ambiente pari a  $R_{D,eff}$  che determina il calore di post-riscaldamento.

Si può ipotizzare, oltre al punto D, il valore della temperatura dell'aria a fine trattamento  $t_c$ . Il punto C va collocato sulla retta R, da qui si scende verticalmente fino ad incontrare la congiungente M-D. In questo caso:

$$G(M) = QS / ( T(A) - T(C) ) \times c_s$$

**FATTORE DI BY-PASS:**

$$BF = \frac{DF}{MD}$$

Dove:

DF= lunghezza del segmento df

MD = lunghezza del segmento md

Oppure:

$$BF = \frac{T_F - T_D}{T_M - T_D}$$

Dove:

T = temperature nei vari punti del grafico

**DETERMINAZIONE DI T<sub>F</sub>:**

$$T_F = BF \times (T_{(M)} - T_{(D)}) + T_{(D)}$$

Dove:

BF = fattore bi by-pass della batteria ( 0,3 )

**CALORE DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$Q_{PR} = \frac{Q_{Seff} - R_{Deff} \times (Q_{Seff} + Q_{Leff})}{R_{Deff} - 1}$$

**PORTATA D'ARIA DA DEUMIDIFICARE:**

$$G_{(M)} = (Q_{Seff} + Q_{PR}) / [(1 - BF) \times (T_{(A)} - T_{(D)}) \times c_s]$$

Dove:

c<sub>s</sub> = calore specifico dell'aria [ 1200 J/( m<sup>3</sup> °C ) ]**ARIA DI RICIRCOLO ( punto A ):**

$$G_{(A)} = G_{(M)} - G_{(E)}$$

Dove:

G<sub>(M)</sub> = portata d'aria da deumidificare punto MG<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo punto E**PUNTO DI MISCELA:**

$$x_{(M)} = \frac{G_{(A)} \times x_{(A)} + G_{(E)} \times x_{(E)}}{G_{(M)}}$$

Dove:

G<sub>(A)</sub> = portata d'aria di ricircolo punto AG<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo punto EG<sub>(M)</sub> = portata d'aria da deumidificare punto Mx = umidità assoluta nei punti [ g<sub>v</sub> / kg<sub>a</sub> ]

**POTENZA FRIGORIFERA NECESSARIA PER IL TRATTAMENTO:**

$$P_f = ( H_{(M)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

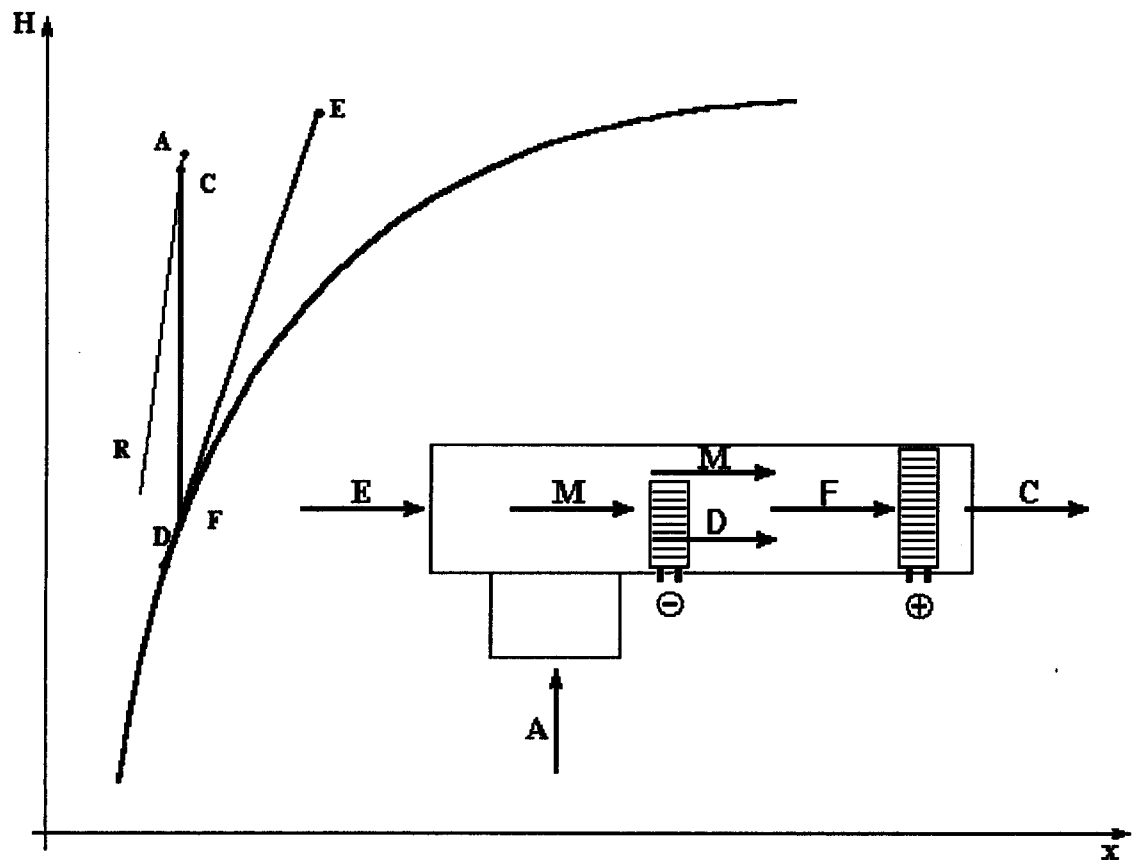
 $H_{(M)}$  = entalpia dell'aria da deumidificare punto M $H_{(F)}$  = entalpia dell'aria nel punto F $G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**POTENZA DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$P_{PR} = ( H_{(C)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(C)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto C $H_{(F)}$  = entalpia dell'aria nel punto F $G_{(M)}$  = portata d'aria da riscaldare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

**4.4 - TRATTAMENTO CON SOLA ARIA DI RINNOVO:**



Graf 4.3

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente di ricircolo
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- D = punto di rugiada dell'apparato ( temperatura superficiale della batteria da ipotizzare [ 10 °C ] )
- F = punto caratteristico dell'aria dopo la deumidificazione/refrigerazione
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento (  $t_c > 20^\circ\text{C}$  )

Ipotizzata  $t_D$  e imposta  $t_C$ , si scende verticalmente dal punto C, posto su R, fino ad incontrare M-D nel punto F.

**PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:**

$$G(E) = Q_S / [ \gamma \times ( H(A) - H(C) ) ]$$

Dove:  
 H = entalpia nei punti del grafico [ J/kg ]  
 $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

**FATTORE DI BY-PASS:**

$$BF = \frac{T_F - T_D}{T_E - T_D}$$

Dove:  
 T = temperature nei vari punti del grafico



**NUMERO DEI RANGHI:**

$$n^{\circ} = \frac{\ln ( BF )}{\ln ( 0,67 )}$$

Dove:

BF = fattore di by-pass

0,67 = costante per BF

**POTENZA FRIGORIFERA NECESSARIA PER IL TRATTAMENTO:**

$$P_f = ( H_{(E)} - H_{(F)} ) \times G_{(E)} \times \gamma$$

Dove:

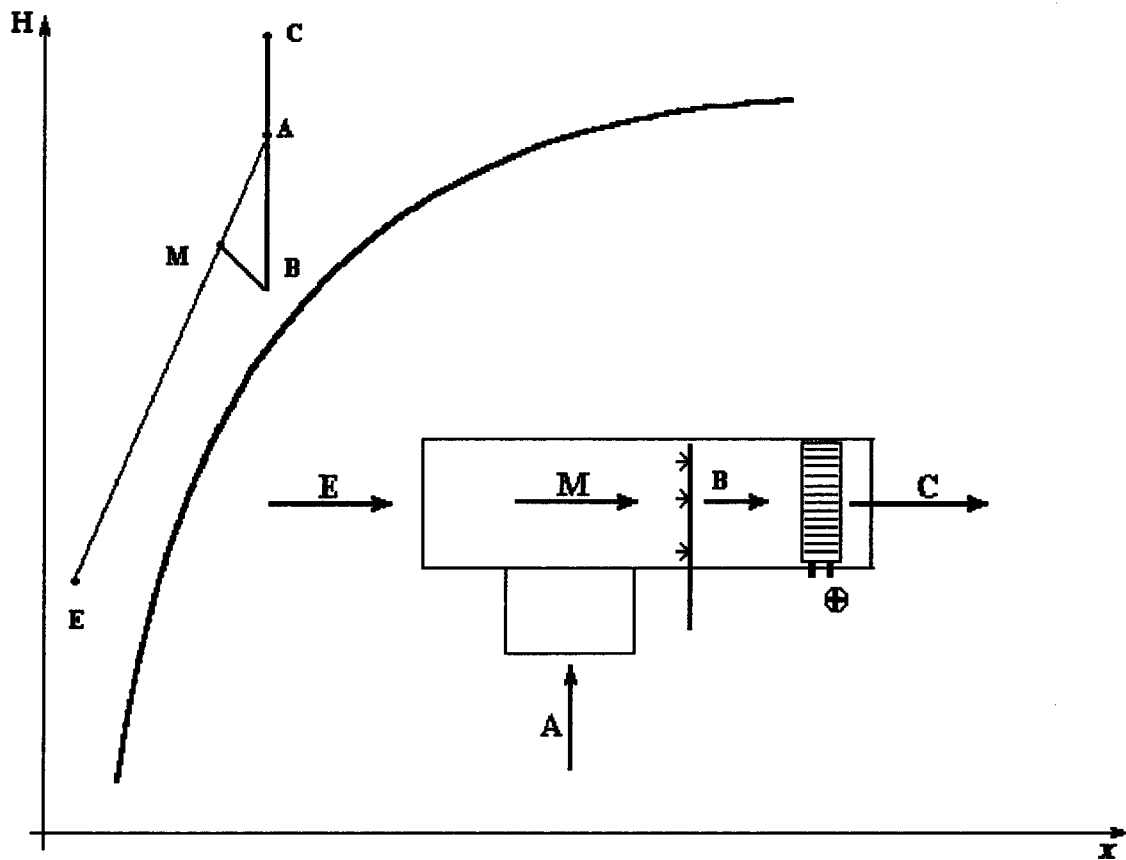
 $H_{(E)}$  = entalpia dell'aria nel punto E $H_{(F)}$  = entalpia dell'aria nel punto F $G_{(E)}$  = portata d'aria da deumidificare punto E $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**POTENZA DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$PPR = ( H_{(C)} - H_{(F)} ) \times G_{(E)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(C)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto C $H_{(F)}$  = entalpia dell'aria nel punto F $G_{(E)}$  = portata d'aria da riscaldare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.5 - CONDIZIONAMENTO INVERNALE:



Graf 4.4

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente di ricircolo
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- M = punto caratteristico dell'aria di Miscela fra quella ambiente e quella esterna
- B = punto di fine umidificazione isoentalpica
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento ( $t_c > 30^\circ\text{C}$ )

Si traccia una retta verticale passante per A, su tale retta si ipotizza il punto C. Da M si compie una saturazione isoentalpica fino ad incontrare la retta passante per A nel punto B.

#### PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:

$$G_{(M)} = Q_T / [ c_s \times ( T_{(C)} - T_{(A)} ) ]$$

Dove:

T = temperatura nei punti del grafico

$c_s$  = calore specifico dell'aria [ 1200 J/( m<sup>3</sup> °C ) ]

$Q_T$  = calore disperso dall'edificio in inverno [ W ]

#### ARIA DI RICIRCOLO ( punto A ):

$$G_{(A)} = G_{(M)} - G_{(E)}$$

Dove:

$G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M

$G_{(E)}$  = portata d'aria di rinnovo punto E

**PUNTO DI MISCELA:**

$$x_{(M)} = \frac{G_{(A)} \times x_{(A)} + G_{(E)} \times x_{(E)}}{G_{(M)}}$$

Dove:

 $G_{(A)}$  = portata d'aria di ricircolo punto A $G_{(E)}$  = portata d'aria di rinnovo punto E $G_{(M)}$  = portata d'aria da deumidificare punto M $x$  = umidità assoluta nei punti [  $g_v / kg_a$  ]**POTENZA DI RISCALDAMENTO:**

$$P_R = ( H_{(C)} - H_{(B)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(C)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto C $H_{(B)}$  = entalpia dell'aria nel punto B $G_{(M)}$  = portata d'aria da riscaldare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2  $kg/m^3$ )**UMIDIFICAZIONE ( portata d'acqua ):**

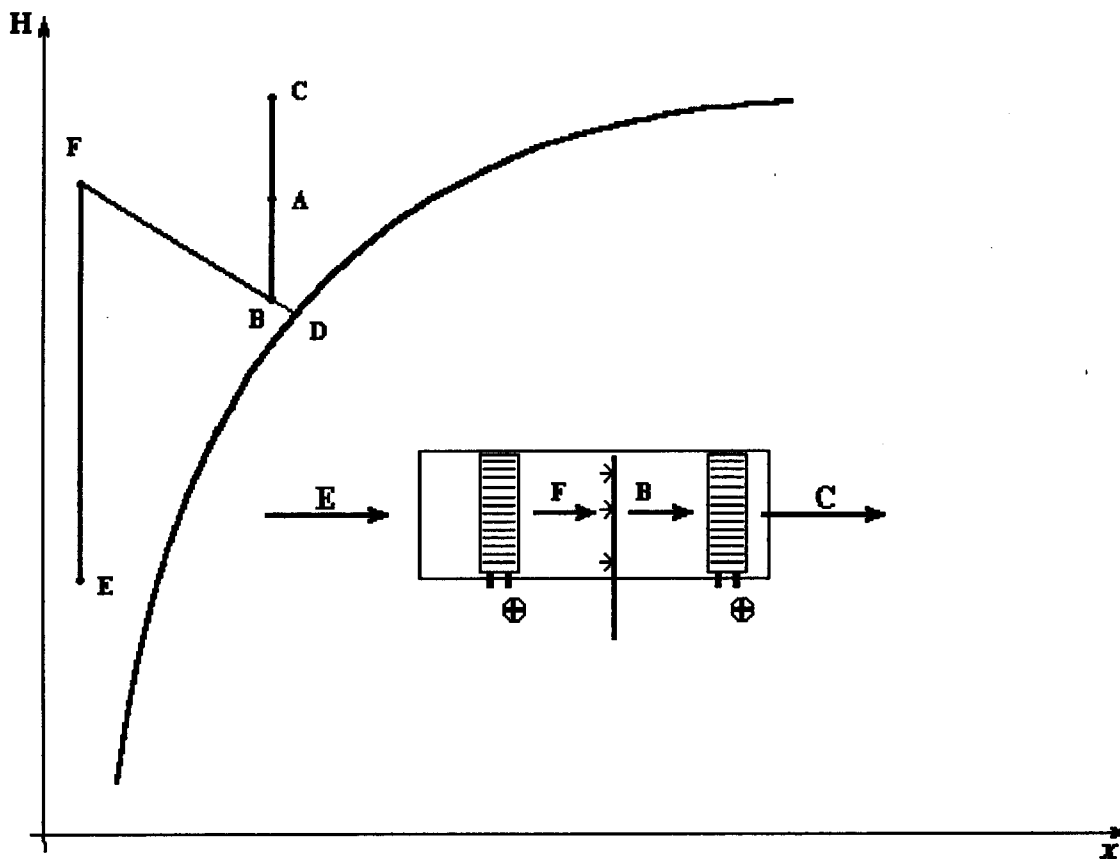
$$G_{H_2O} = ( x_{(B)} - x_{(C)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

 $x$  = umidità assoluta nei punti [  $g_v / kg_a$  ] $G_{(M)}$  = portata d'aria da umidificare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2  $kg/m^3$ )**TEMPERATURA DELL'ACQUA DI UMIDIFICAZIONE:**

La temperatura dell'acqua di umidificazione corrisponde alla temperatura a bulbo umido dell'aria di miscela.

**4.6 - CONDIZIONAMENTO INVERNALE ( solo aria esterna ):**



Graf 4.5

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- F = punto di fine pre-riscaldamento
- B = punto di fine umidificazione isoentalpica
- D = punto caratteristico di umidificazione con efficienza 100%
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento (  $t_c > 30^{\circ}\text{C}$  )

Si traccia una retta verticale passante per A, su tale retta si ipotizza il punto C o, se si conosce la portata d'aria da trattare, lo si calcola. Si traccia una retta verticale da E e, successivamente, si compie una umidificazione isoentalpica, caratterizzata dal rendimento voluto, dal punto F al punto B.

**EFFICIENZA DI SATURAZIONE:**

$$E = \frac{T_B - T_D}{T_F - T_D}$$

Dove:  
T = temperature nei vari punti del grafico

**TEMPERATURA DI IMMISSIONE DELL'ARIA:**

$$T_{(C)} = Q_T / (c_s \times G_{(E)}) + T_{(A)}$$

Dove:

T = temperatura nei punti del grafico

 $c_s$  = calore specifico dell'aria [ 1200 J/( m<sup>3</sup> °C) ] $Q_T$  = calore disperso dall'edificio in inverno [ W ]**PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:**

$$G_{(E)} = Q_T / [ c_s \times ( T_{(C)} - T_{(A)} ) ]$$

Dove:

T = temperatura nei punti del grafico

 $c_s$  = calore specifico dell'aria [ 1200 J/( m<sup>3</sup> °C) ] $Q_T$  = calore disperso dall'edificio in inverno [ W ]**POTENZA DI RISCALDAMENTO:**

$$P_R = ( H_{(F)} - H_{(E)} ) \times G_{(E)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(E)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto E $H_{(F)}$  = entalpia dell'aria nel punto F $G_{(E)}$  = portata d'aria da riscaldare punto E $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**UMIDIFICAZIONE ( portata d'acqua ):**

$$G_{H_2O} = ( x_{(B)} - x_{(F)} ) \times G_{(E)} \times \gamma$$

Dove:

x = umidità assoluta nei punti [ g<sub>v</sub> / kg<sub>a</sub> ] $G_{(E)}$  = portata d'aria da umidificare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**TEMPERATURA DELL'ACQUA DI UMIDIFICAZIONE:**

La temperatura dell'acqua di umidificazione corrisponde alla temperatura a bulbo umido dell'aria di miscela.

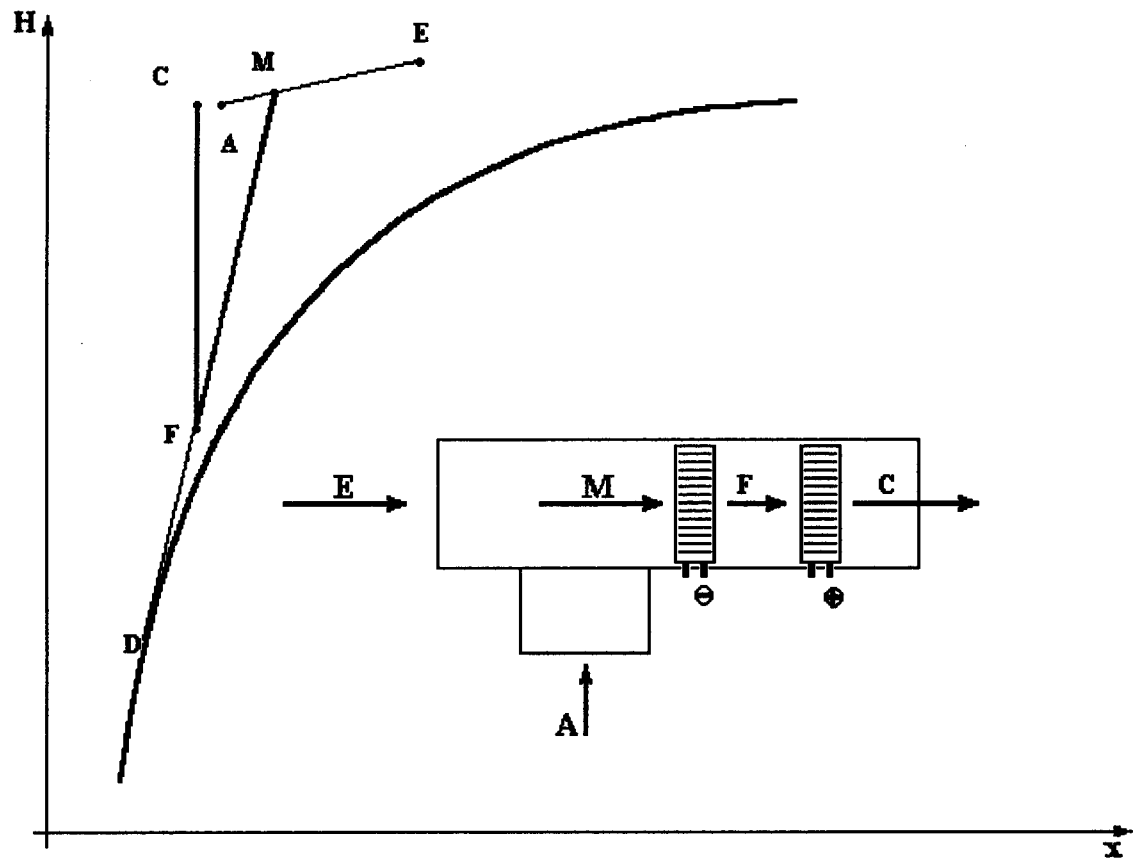
**POTENZA DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$P_{PR} = ( H_{(C)} - H_{(B)} ) \times G_{(E)} \times \gamma$$

Dove:

 $H_{(B)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto B $H_{(C)}$  = entalpia dell'aria nel punto C $G_{(E)}$  = portata d'aria da riscaldare $\gamma$  = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

**4.6 - IMPIANTO MISTO ACQUA-ARIA ( che neutralizza il calore latente):**



Graf 4.6

- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- M = punto caratteristico dell'aria di Miscela fra quella ambiente e quella esterna
- D = punto di rugiada dell'apparato (  $t_D =$  all'incirca  $10^\circ\text{C}$  )
- F = punto di fine deumidificazione
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento

Si sceglie un punto C alla stessa temperatura dell'aria ambiente ma, ad umidità assoluta inferiore. Si ipotizza un punto D. Si traccia la retta verticale passante per C, dove questa interseca il segmento M-D, trovo il punto F.

**FATTORE DI BY-PASS:**

$$BF = \frac{FD}{MD}$$

Oppure:

$$BF = \frac{T_F - T_D}{T_M - T_D}$$

Dove:

- CD= lunghezza del segmento cd
- MD = lunghezza del segmento md

Dove:

T = temperature nei vari punti del grafico

**PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:**

$$G_{(M)} = Q_L / (x_{(A)} - x_{(C)}) \times c_{lv}$$

Dove:

x = umidità assoluta nei punti [ g<sub>v</sub> / kg<sub>a</sub> ]c<sub>lv</sub> = calore latente di vaporizzazione dell'H<sub>2</sub>O (2512 J/g)Q<sub>L</sub> = calore latente [ W ]**ARIA DI RICIRCOLO ( punto A ):**

$$G_{(A)} = G_{(M)} - G_{(E)}$$

Dove:

G<sub>(M)</sub> = portata d'aria da deumidificare punto MG<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo punto E**PUNTO DI MISCELA:**

$$x_{(M)} = \frac{G_{(A)} \times x_{(A)} + G_{(E)} \times x_{(E)}}{G_{(M)}}$$

Dove:

G<sub>(A)</sub> = portata d'aria di ricircolo punto AG<sub>(E)</sub> = portata d'aria di rinnovo punto EG<sub>(M)</sub> = portata d'aria da deumidificare punto Mx = umidità assoluta nei punti [ g<sub>v</sub> / kg<sub>a</sub> ]**POTENZA FRIGORIFERA NECESSARIA PER IL TRATTAMENTO:**

$$P_f = ( H_{(M)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

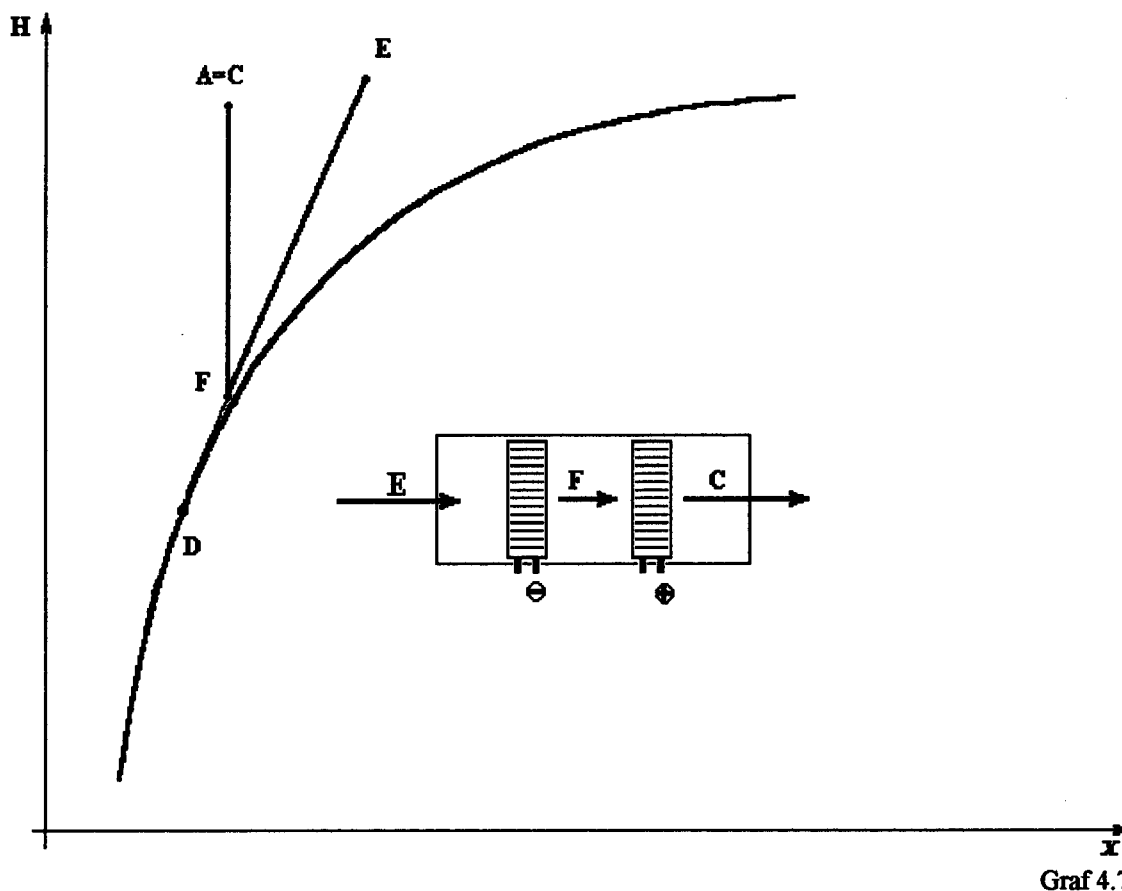
H<sub>(M)</sub> = entalpia dell'aria da deumidificare punto MH<sub>(F)</sub> = entalpia dell'aria di mandata punto FG<sub>(M)</sub> = portata d'aria da deumidificare punto Mγ = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)**POTENZA DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$P_{PR} = ( H_{(C)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

H<sub>(F)</sub> = entalpia dell'aria di mandata punto FH<sub>(C)</sub> = entalpia dell'aria nel punto CG<sub>(M)</sub> = portata d'aria da riscaldareγ = peso specifico dell'aria (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.7 - IMPIANTO MISTO ACQUA-ARIA DI VENTILAZIONE:



- A = punto caratteristico dell'aria Ambiente
- E = punto caratteristico dell'aria Esterna di rinnovo
- D = punto di rugiada dell'apparato (  $t_D =$  all'incirca  $10^\circ\text{C}$  )
- F = punto di fine deumidificazione
- C = punto caratteristico dell'aria alla fine del trattamento

Il punto C coincide con il punto A in quanto l'aria prodotta è solo di ventilazione. Si ipotizza un punto D, si traccia la retta M-D, dove si interseca con la retta verticale passante per A, si trova il punto F.

#### PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:

La portata d'aria da trattare è quella esclusivamente di rinnovo  $G_{(E)}$  calcolata al paragrafo 4.1 sezione 3.

#### POTENZA FRIGORIFERA NECESSARIA PER IL TRATTAMENTO:

$$P_f = ( H_{(E)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma$$

Dove:

$H_{(E)}$  = entalpia dell'aria da deumidificare punto E

$H_{(F)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto F

$G_{(E)}$  = portata d'aria da deumidificare punto E

$\gamma$  = peso specifico dell'aria ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ )



**POTENZA DI POST-RISCALDAMENTO:**

$$P_{PR} = ( H_{(C)} - H_{(F)} ) \times G_{(M)} \times \gamma \quad \text{Dove:}$$

$H_{(F)}$  = entalpia dell'aria di mandata punto F

$H_{(C)}$  = entalpia dell'aria nel punto C

$G_{(B)}$  = portata d'aria da riscaldare

## 5 - TERMODINAMICA:

### 5.1 - EQUAZIONE DI STATO DEI GAS:

$$p \times V = m \times R_s \times T$$

Dove:

$p$  = pressione [ Pa ]

$V$  = volume [ m<sup>3</sup> ]

$m$  = massa del gas [ kg ]

$R_s$  = costante specifica del gas [ J / kg °K ]

$T$  = temperatura assoluta [ °K ]

### 5.2 - EQUAZIONE DI MAYER:

$$R_s = c_p - c_v$$

Dove:

$c_p$  = calore specifico a pressione costante [ J / kg °K ]

$c_v$  = calore specifico a volume costante [ J / kg °K ]

$$K = \frac{c_p}{c_v}$$

Dove:

$K$  = costante adiabatica

I valori di  $R_s$ ,  $c_p$  e  $c_v$  si possono ricavare dalla tabella 5.1.

Tabella **GRANDEZZE CARATTERISTICHE DI ALCUNI GAS O VAPORI**

Gas o vapore	Massa molecolare ( $\mu$ )	Cost. R ( $R_u/\mu$ )		Calore specifico				$k = \frac{c_p}{c_v}$
		SI J/kg K	sist. tecn. kgf m/kgf K	(c <sub>p</sub> ) a press. cost.		(c <sub>v</sub> ) a vol. cost.		
				kcal/kg °C	J/kg °C	kcal/kg °C	J/kg °C	
<b>Mono-atomici</b>								
Argonio	40	208	21,2	0,124	519	0,075	314	1,65
Elio	4	2080	212	1,25	5232	0,75	3140	1,665
<b>Bi-atomici</b>								
Aria	29	287	29,26	0,238	996	0,170	712	1,4
Azoto	28	296,5	30,26	0,247	1034	0,176	737	1,405
Idrogeno	2	4116	420	3,41	14274	2,42	10130	1,41
Ossido di carbonio	28	296,5	30,3	0,242	1013	0,172	720	1,41
Ossigeno	32	260	26,5	0,217	908	0,155	649	1,4
<b>Tri-atomici</b>								
Anidride carbonica	44	189	19,3	0,21	879	0,16	670	1,31
Anidride solforosa	64	129	13,2	0,15	628	0,12	502	1,25
Protossido di azoto	44	188	19,2	0,21	879	0,16	670	1,31
Vapore acqueo	18	461,5	47,1	0,48	2009	0,37	1549	1,30
<b>Poli-atomici</b>								
Acetilene	26	319,5	32,6	0,35	1465	0,27	1130	1,30
Ammoniaca	17	486	49,6	0,53	2218	0,41	1716	1,29
Cloruro di metile	50,6	164,5	16,8	0,24	1004	0,20	837	1,20
Etilene	28	296	30,2	0,40	1674	0,33	1381	1,21
Metano	16	518,5	52,9	0,59	2470	0,46	1925	1,28

Tab 5.1

### 5.3 - TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE:

#### LEGENDA DELLE GRANDEZZE UTILIZZATE:

$m$  = massa del gas [ kg ]

$V$  = volume del gas [  $m^3$  ]

$p$  = pressione del gas [ Pa ]

$T$  = temperatura del gas [ °K ]

$\Delta T$  = differenza di temperatura fra i due stati del gas [ °K ]

$L$  = lavoro meccanico di compressione oppure di dilatazione [ J ]

$\Delta U$  = variazione di energia interna [ J ]

$\Delta Q$  = calore scambiato [ J ]

$\Delta H$  = variazione di entalpia [ J ]

$\Delta S$  = variazione di entropia [ J ]

#### TRASFORMAZIONE ISOBARA ( pressione costante ):

$V$

---- = costante

$T$

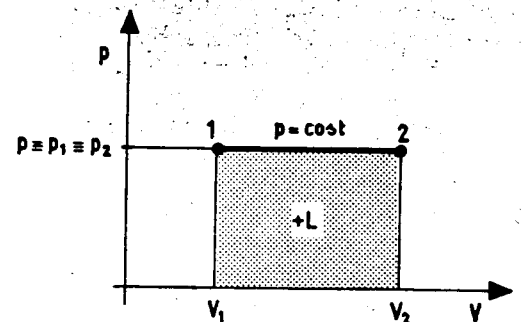
$$\Delta Q = m \times c_p \times \Delta T = m \times c_v \times \Delta T + \Delta V \times p$$

$$L = p \times \Delta V$$

$$\Delta U = \Delta Q - L$$

$$\Delta H = \Delta Q$$

$$\Delta S = m \times c_p \times \ln ( T_2 / T_1 )$$



Graf 5.1

#### TRASFORMAZIONE ISOCORA ( volume costante ):

$p$

---- = costante

$T$

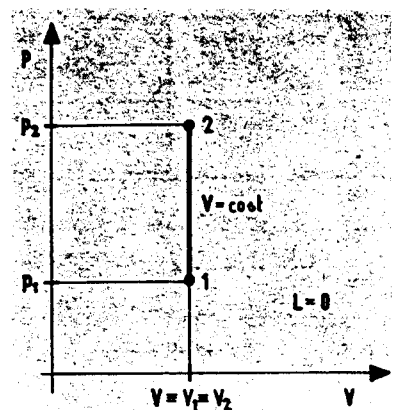
$$\Delta Q = m \times c_v \times \Delta T$$

$$L = 0$$

$$\Delta U = \Delta Q - L$$

$$\Delta H = m \times c_p \times \Delta T$$

$$\Delta S = m \times c_v \times \ln ( T_2 / T_1 )$$



Graf 5.2

**TRASFORMAZIONE ISOTERMA ( temperatura costante ):**

$$p \times V = \text{costante}$$

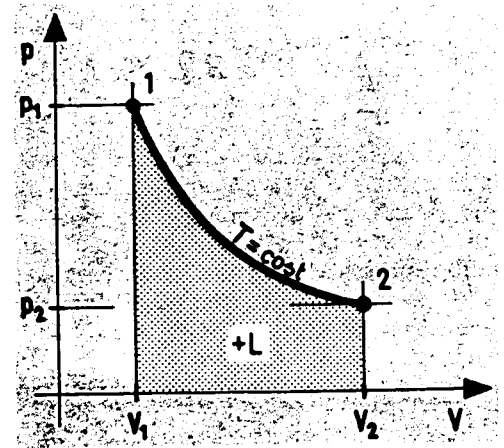
$$\Delta Q = (m \times R \times T) \times \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{(p_1 \times V_1)}{(p_2 \times V_2)} \times \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right)$$

$$L = \Delta Q$$

$$\Delta U = 0$$

$$\Delta H = 0$$

$$\Delta S = \Delta Q / T$$



Graf 5.4

**TRASFORMAZIONE ADIABATICA ( senza scambi di calore ):**

$$p \times V^k = \text{costante}$$

$$T \times V^{(k-1)} = \text{costante}$$

$$\Delta Q = 0$$

$$L = -m \times c_v \times \Delta T = \left[ \frac{(p_1 \times V_1)}{(k-1)} \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{[(k-1)/k]} \right]$$

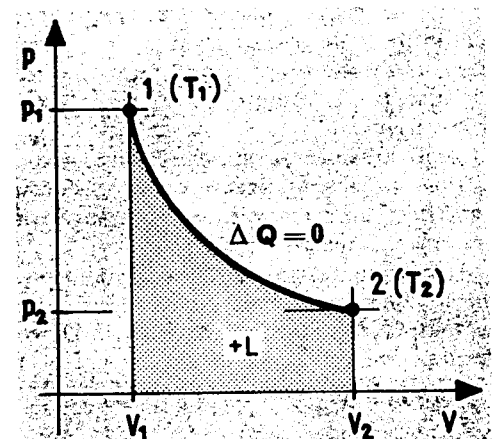
Per trasformazioni aperte ( massa non costante ):

$$L = \left[ \frac{k}{(k-1)} \right] \times (p_1 \times V_1) \times \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{[(k-1)/k]} \right]$$

$$\Delta U = -L$$

$$\Delta H = m \times c_p \times \Delta T$$

$$\Delta S = 0$$



Graf 5.5

**TRASFORMAZIONE POLITROPICA:**

$$p \times V^n = \text{costante}$$

$$T \times V^{(n-1)} = \text{costante}$$

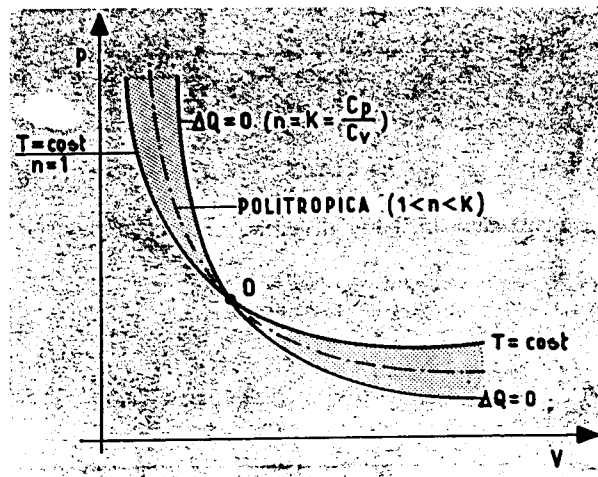
$$\Delta Q = m \times c_x \times \Delta T$$

$$\Delta H = m \times c_p \times \Delta T$$

$$\Delta S = m \times c_x \times \ln (T_2 / T_1)$$

$$\Delta U = m \times c_v \times \Delta T$$

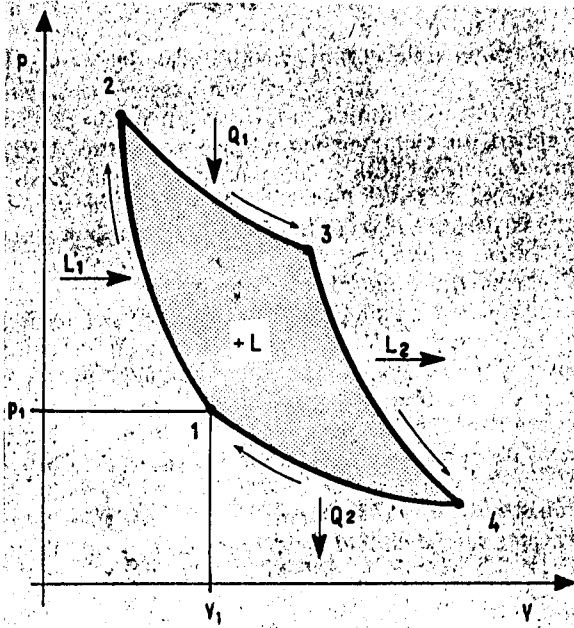
$$L = \Delta Q - \Delta U = [(p_1 \times V_1) / (n - 1)] \times [1 - (p_2 \times p_1)^{(n-1)/n}]$$



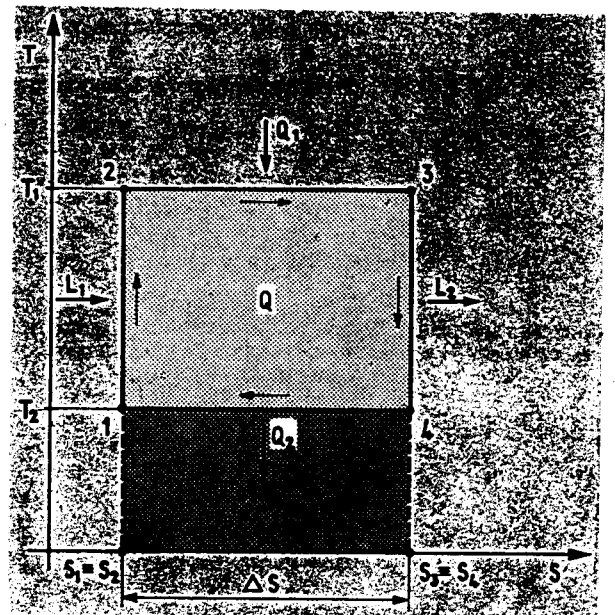
Graf 5.6

## 5.4 - CICLI TERMODINAMICI:

### CICLO DI CARNOT:



Graf 5.7



Graf 5.7a

- 1-2: compressione adiabatica ( $L_1$ );
- 2-3: espansione isoterma ( $Q_1$ );
- 3-4: espansione adiabatica ( $L_2$ );
- 4-1: compressione isoterma ( $Q_2$ ).

### LAVORO FORNITO DAL CICLO:

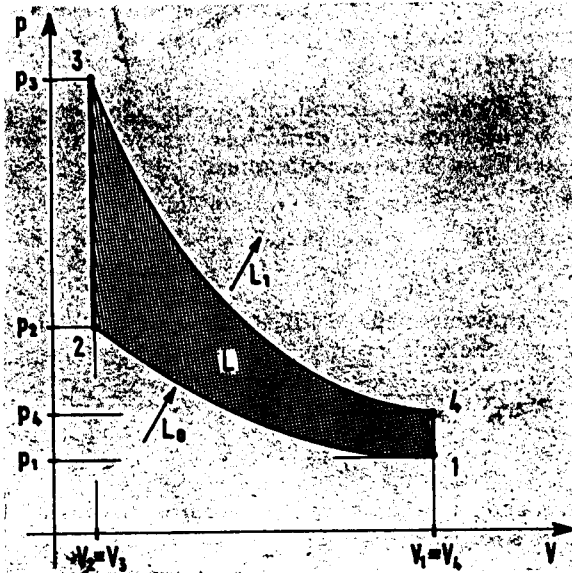
$$L_{cc} = L_2 - L_1$$

### CALORE SPESO PER IL CICLO:

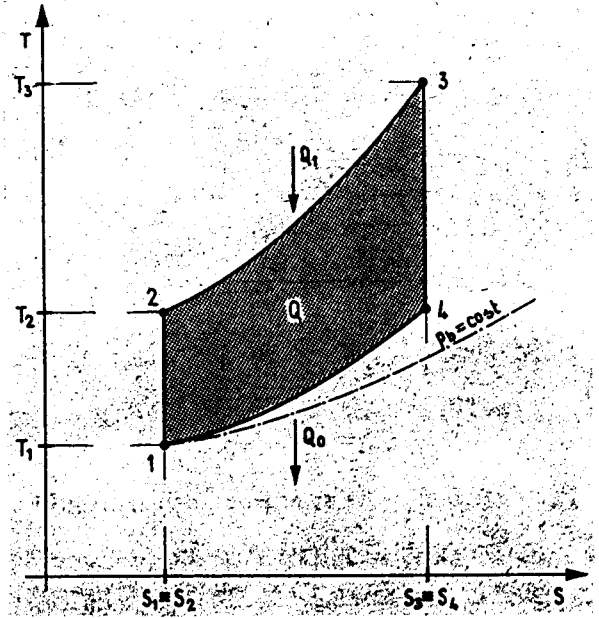
$$Q_{cc} = Q_1 - Q_2$$

### RENDIMENTO DEL CICLO:

$$\eta_{cc} = 1 - Q_2 / Q_1 = 1 - T_2 / T_1$$

**CICLO OTTO:**

Graf 5.8



Graf 5.8a

- 1-2: compressione adiabatica ( con somministrazione del lavoro  $L_0$  );
- 2-3: trasformazione isocora ( con somministrazione del calore  $Q_1$  );
- 3-4: espansione adiabatica ( con sviluppo del lavoro  $L_1$  );
- 4-1: trasformazione isocora ( con cessione del calore  $Q_0$  ).

**CALORE SOMMINISTRATO AL CICLO:**

$$Q_1 = c_v \times ( T_4 - T_1 )$$

**CALORE SVILUPPATO DAL CICLO:**

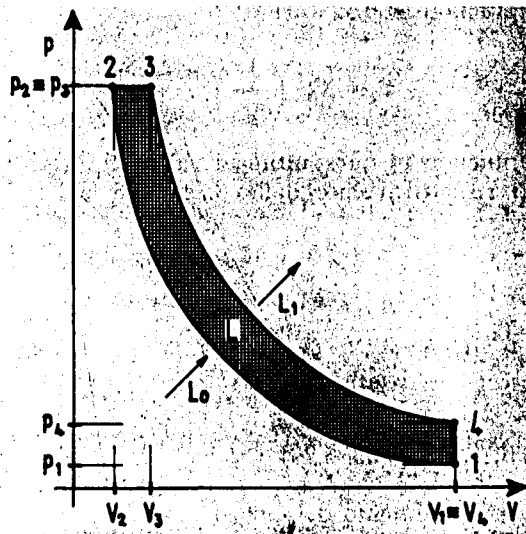
$$Q_0 = c_v \times ( T_3 - T_2 )$$

**RAPPORTO DI COMPRESSIONE:**

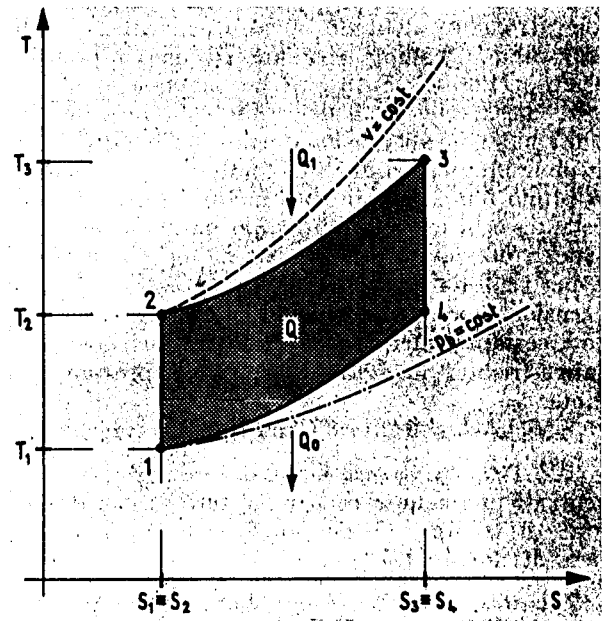
$$\rho = V_1 / V_2$$

**RENDIMENTO DEL CICLO:**

$$\eta_{co} = 1 - Q_0 / Q_1 = 1 - ( T_4 - T_1 ) / ( T_3 - T_2 ) = 1 - 1 / \rho^{(k-1)}$$

**CICLO DIESEL:**

Graf 5.9



Graf 5.9a

- 1-2: compressione adiabatica ( con somministrazione del lavoro  $L_0$  );
- 2-3: trasformazione isobara ( con somministrazione del calore  $Q_1$  );
- 3-4: espansione adiabatica ( con sviluppo del lavoro  $L_1$  );
- 4-1: trasformazione isocora ( con cessione del calore  $Q_0$  ).

**CALORE SOMMINISTRATO AL CICLO:**

$$Q_1 = c_p \times (T_3 - T_2)$$

**CALORE SVILUPPATO DAL CICLO:**

$$Q_0 = c_v \times (T_4 - T_1)$$

**RAPPORTO DI ESPANSIONE:**

$$\sigma = V_4 / V_3$$

**RAPPORTO DI COMBUSTIONE:**

$$\beta = V_3 / V_2 = T_3 / T_2$$

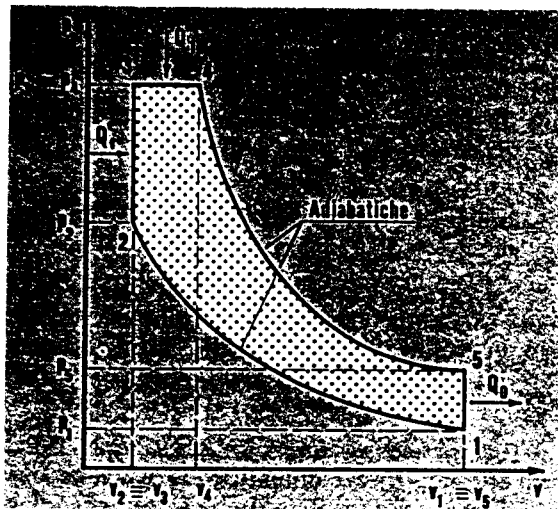
**RAPPORTO DI COMPRESSIONE:**

$$\rho = V_1 / V_2 = \beta \times \sigma$$

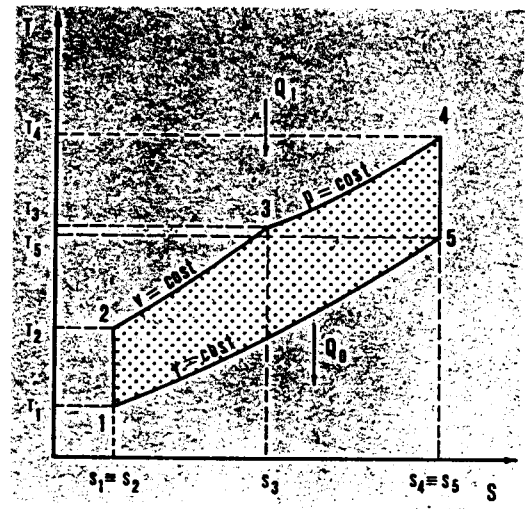
**RENDIMENTO DEL CICLO:**

$$\eta_{cd} = 1 - Q_0 / Q_1 = 1 - (\beta^k - 1) / [k \times (\beta - 1) \times \rho^{(k-1)}]$$



**CICLO SABATHE':**

Graf 5.10



Graf 5.10a

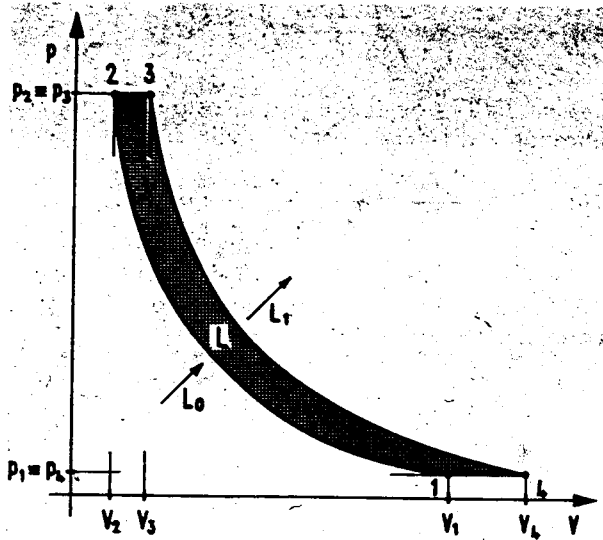
- 1-2: compressione adiabatica ( con somministrazione del lavoro  $L_0$  );
- 2-3: trasformazione isocora ( con somministrazione del calore  $Q_{1'}$  );
- 3-4: espansione isobara ( con somministrazione del calore  $Q_{1''}$  );
- 4-5: espansione adiabatica ( con sviluppo del lavoro  $L_1$  );
- 5-1: trasformazione isocora ( con cessione del calore  $Q_0$  ).

**CALORE SOMMINISTRATO AL CICLO:**

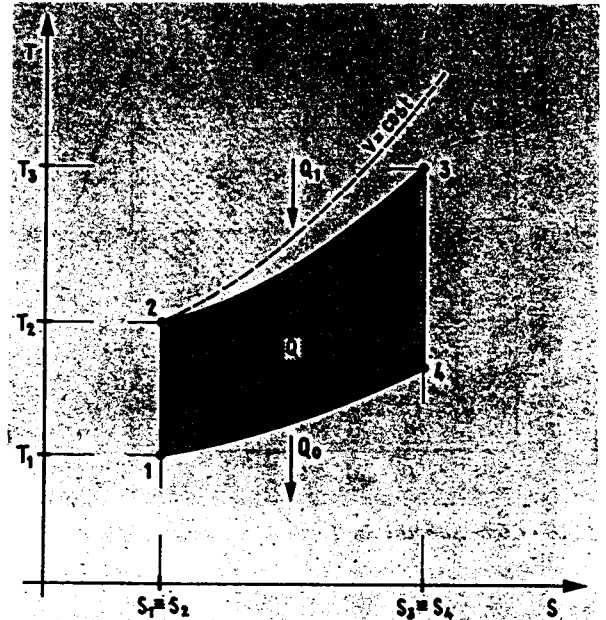
$$Q_1 = Q_{1'} + Q_{1''} = c_v \times (T_4 - T_1) + c_p \times (T_3 - T_2)$$

**CALORE CEDUTO:**

$$Q_0 = c_v \times (T_5 / T_1)$$

**CICLO BRAYTON-JOULE:**

Graf 5.12



Graf 5.12a

- 1-2: compressione adiabatica ( con somministrazione del lavoro  $L_0$  );
- 2-3: espansione isobara ( con somministrazione del calore  $Q_1$  );
- 3-4: espansione adiabatica ( con sviluppo del lavoro  $L_1$  );
- 4-1: compressione isobara ( con cessione del calore  $Q_0$  ).

**RAPPORTO DI COMPRESSIONE REALE:**

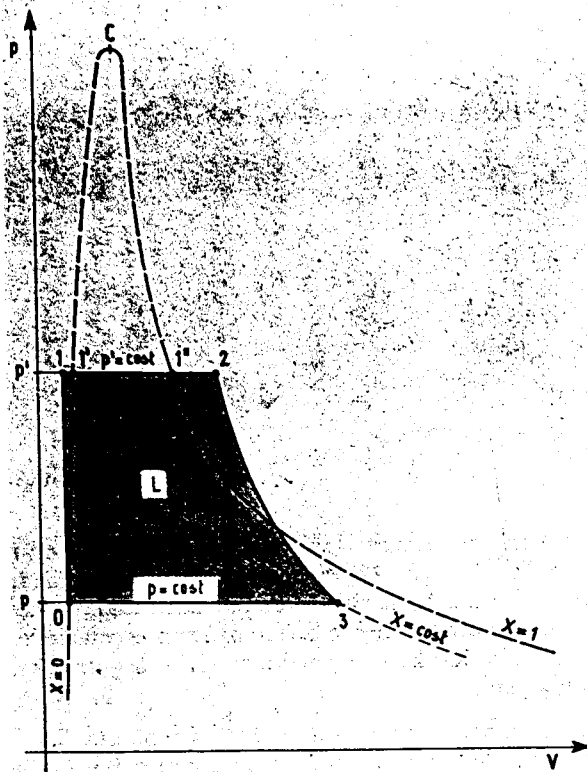
$$\lambda = p_2 / p_1$$

**RENDIMENTO DEL CICLO:**

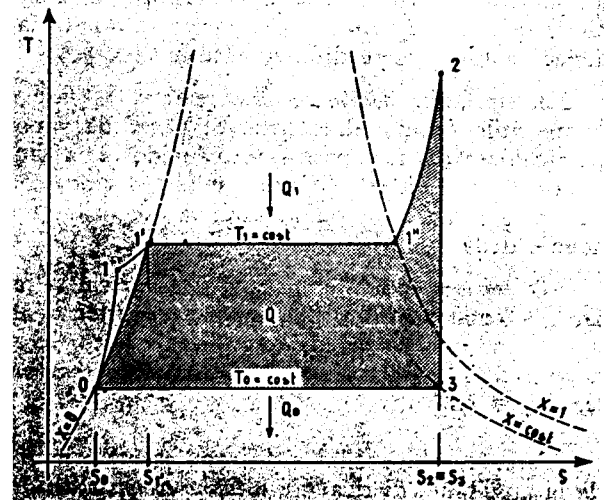
$$\eta_{cb} = 1 - 1 / \lambda^{(k-1)/k}$$

## 6 - IMPIANTI A VAPORE:

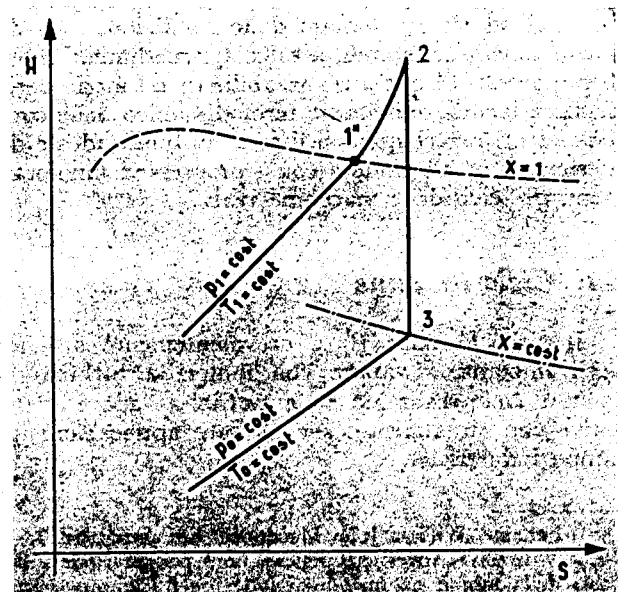
### 6.1 - CICLO RANKINE:



Graf 6.1



Graf 6.1a



Graf 6.1b

- 0-1: compressione adiabatica dell'acqua fino alla pressione regnante nel generatore ( con somministrazione del lavoro  $L_p$  );
- 1-1': preriscaldamento dell'acqua a pressione costante ( con somministrazione del calore  $Q_1$  ');
- 1'-1'': riscaldamento dell'acqua a pressione costante fino allo stato di vapore saturo secco ( con somministrazione del calore  $Q_1$  ');
- 1''-2: surriscaldamento del vapore a pressione costante ( con somministrazione del calore  $Q_1$  ''');
- 2-3: espansione adiabatica in turbina ( con produzione del lavoro  $L_t$  );
- 3-0: cessione del calore a pressione costante ( con cessione del calore  $Q_c$  );

CALORE SOMMINISTRATO AL CICLO:

$$Q_1 = H_2 - H_0$$

CALORE SVILUPPATO DAL CICLO:

$$Q_0 = H_3 - H_0$$

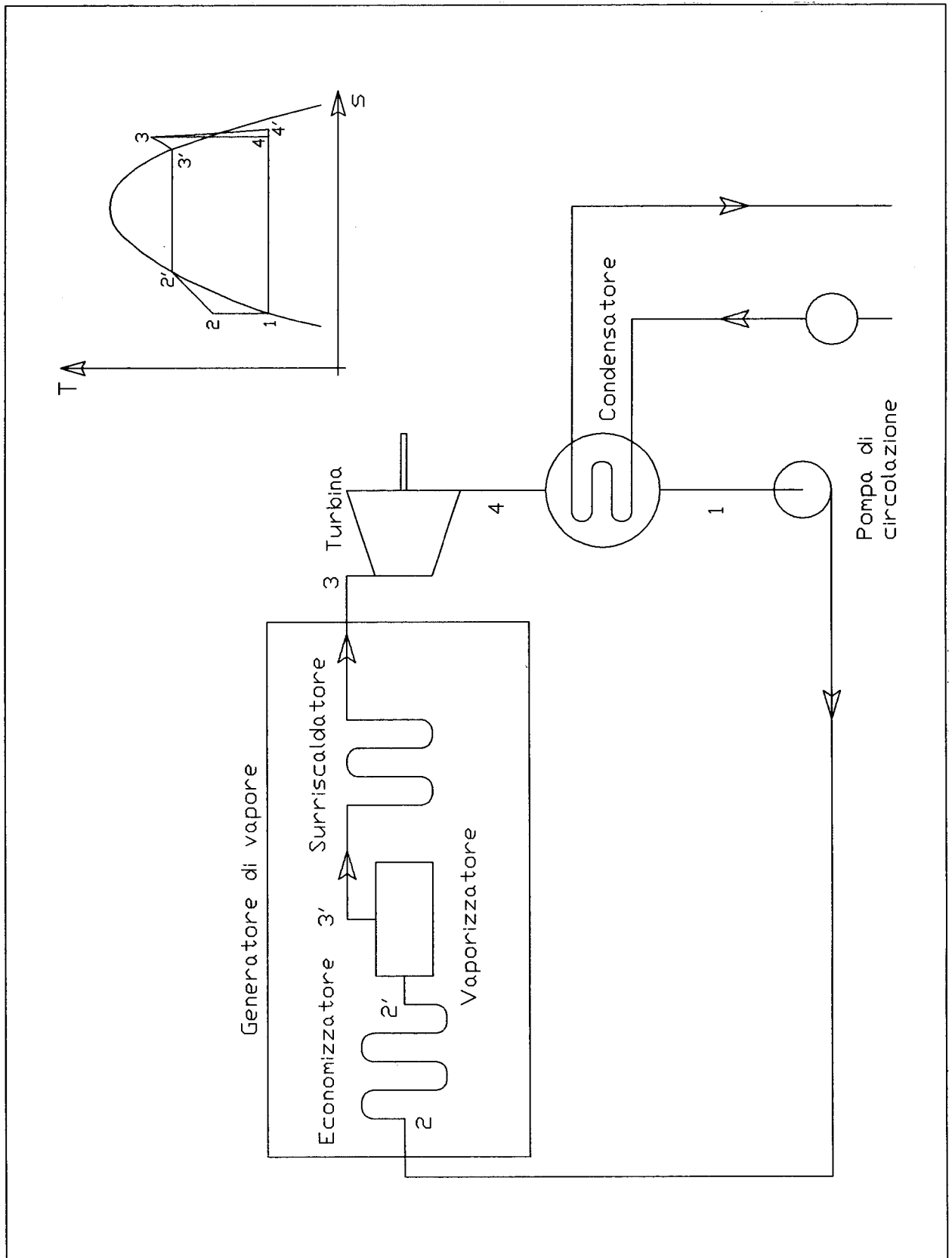
LAVORO SVILUPPATO DAL CICLO:

$$Q_L = H_2 - H_3$$

RENDIMENTO DEL CICLO:

$$\eta_{cr} = Q_L / Q_1$$

**6.2 - DISEGNO DI MASSIMA:**



**6.3 - TURBINA A VAPORE:****SALTO ENTALPICO IDEALE:**

$$\Delta H_t = H_3 - H_4$$

Dove:

 $H_4$  = entalpia nel punto 4 $H_3$  = entalpia nel punto 3**SALTO ENTALPICO REALE:**

$$\Delta H_{tr} = (H_3 - H_4) \times \eta_a$$

Dove:

 $H_4$  = entalpia nel punto 4 $H_3$  = entalpia nel punto 3 $\eta_a$  = rendimento adiabatico [ 90 % ]**PUNTO 4' REALE:**

$$H_{4'} = H_3 - (H_3 - H_4) \times \eta_a$$

Dove:

 $H_4$  = entalpia nel punto 4 $H_3$  = entalpia nel punto 3 $\eta_a$  = rendimento adiabatico [ 90 % ]**POTENZA FORNITA DALLA TURBINA:**

$$P_t = G_{vap} \times \Delta H_{tr}$$

Dove:

 $G_{vap}$  = portata di vapore $\Delta H_{tr}$  = salto entalpico reale**6.4 - CONDENSATORE:****POTENZA SCAMBIATA:**

$$P_c = G_{vap} \times (H_{4'} - H_1)$$

Dove:

 $G_{vap}$  = portata di vapore $H_{4'}$  = entalpia punto 4' $H_1$  = entalpia punto 1 (coincidente con la  $T_c$ )

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA AL CONDENSATORE:**

$$\Delta T_c = T_4 - \frac{T_u + T_i}{2}$$

Dove:

 $T_4$  = temperatura di condensazione  $T_C$  $T_u$  = temperatura di uscita dal condensatore $T_i$  = temperatura di ingresso al condensatore**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL CONDENSATORE:**

$$S_c = \frac{P_c}{K_c \times \Delta T_c}$$

Dove:

 $K_c$  = coefficiente di scambio del condensatore $K_c = 4 \times v = [ \text{kW}/(^\circ\text{C} \times \text{m}^2) ]$  $v = 1 - 2 \text{ m/s}$ **PORTATA D'ACQUA AL CONDENSATORE:**

$$G_{H_2O} = \frac{P_c}{c_s \times (T_u - T_e)}$$

Dove:

 $P_c$  = potenza scambiata al condensatore $c_s$  = calore specifico  $H_2O$  [ 4,186 kW / (  $^\circ\text{C} \times \text{kg}$  ) ] $T_u$  = temperatura in uscita al condensatore $T_e$  = temperatura in entrata al condensatore**AREA DI PASSAGGIO DEL CONDENSATORE:**

$$A = \frac{G_a}{\gamma \times v}$$

Dove:

 $G_a$  = portata d'acqua refrigerante [ kg/s ] $\gamma$  = peso specifico [ 1000 kg /  $\text{m}^3$  ] $v$  = velocità dell'acqua ( 1,2 ) [ m/s ]**DIMENSIONI TUBO UTILIZZATO:**Diametro esterno:  $d_e = 19 \text{ mm}$ Diametro interno:  $d_i = 15,8 \text{ mm}$ Spessore :  $sp = 1,6 \text{ mm}$ Area di passaggio:  $a = 0,000196 \text{ m}^2$ **QUANTITA' DI TUBI DA UTILIZZARE:**

$$n^\circ = \frac{A}{a}$$

Dove:

 $A$  = area di passaggio [  $\text{m}^2$  ] $a$  = area di passaggio unitaria [  $\text{m}^2$  ]

**LUNNGHEZZA DEI TUBI:**

$$L = \frac{S_c}{\pi \times n^\circ \times d_e}$$

Dove:

 $S_c$  = superficie del condensatore [ m<sup>2</sup> ] $n^\circ$  = numero di tubi $d_e$  = diametro esterno dei tubi [ m<sup>2</sup> ]**6.5 - POMPA DI ESTRAZIONE ( condensatore ):****PREVALENZA DELLA POMPA:**

$$H_m = H_g + Y$$

Dove:

 $H_g$  = salto geodetico [ mH<sub>2</sub>O ] $Y$  = perdite di carico lungo la condotta ( 8 ) [ mH<sub>2</sub>O ]**POTENZA FORNITA DALLA POMPA ( idraulica ):**

$$P_{PE} = 9,81 \times G_{H_2O} \times H_m \text{ [ kW ]}$$
 Dove:

9,81 = fattore di conversione

 $G_{H_2O}$  = portata d'acqua [ kg/s ] $H_m$  = prevalenza manometrica [ mH<sub>2</sub>O ]**POTENZA DA FORNIRE ALLA POMPA ( meccanica ):**

$$P_{PE(m)} = P_{PE} / \eta_P \text{ [ kW ]}$$

Dove:

 $P_{PE}$  = potenza pompa di estrazione [ kW ] $\eta_P$  = rendimento della pompa ( 65 % )**6.6 - POMPA DI CIRCOLAZIONE:****PORTATA D'ACQUA :**

$$G_{H_2O} = G_{vap}$$

**PREVALENZA DELLA POMPA:**

$$H_m = ( p_m - p_a ) \times 10,33 + Y$$

Dove:

10,33 = fattore di conversione

 $p_m$  = pressione di mandata della pompa [ atm ] $p_a$  = pressione di aspirazione della pompa [ atm ] $Y$  = perdite di carico lungo la condotta [ 8 mH<sub>2</sub>O ]



**POTENZA FORNITA DALLA POMPA ( idraulica ):**

$$P_{PC} = 9,81 \times G_{H_2O} \times H_m \text{ [ kW ] } \text{ Dove:}$$

9,81 = fattore di conversione

 $G_{H_2O}$  = portata d'acqua [ kg/s ] $H_m$  = prevalenza manometrica [ mH<sub>2</sub>O ]**POTENZA DA FORNIRE ALLA POMPA ( meccanica ):**

$$P_{PC(m)} = P_{PC} / \eta_P \text{ [ kW ]}$$

Dove:

 $P_{PC}$  = potenza pompa di circolazione [ kW ] $\eta_P$  = rendimento della pompa ( 65 % )**6.7 - GENERATORE DI VAPORE:****POTENZA FORNITA DAL GENERATORE ( senza sur. e eco. ):**

$$P_{GV} = ( H_3 - H_2 ) \times G_{vap} \text{ [ kW ] } \text{ Dove:}$$

 $H_3$  = entalpia punto 3 [ kJ/kg ] $H_2$  = entalpia punto 2 [ kJ/kg ] $G_{vap}$  = portata di vapore [ kg/s ]**POTENZA FORNITA DAL GENERATORE ( con sur. e eco. ):**

$$P_{GV} = ( H_{3'} - H_{2'} ) \times G_{vap} \text{ [ kW ] } \text{ Dove:}$$

 $H_{3'}$  = entalpia punto 3' [ kJ/kg ] $H_{2'}$  = entalpia punto 2' [ kJ/kg ] $G_{vap}$  = portata di vapore [ kg/s ]**PORTATA DI COMBUSTIBILE:**

$$G_c = \frac{P_{GV}}{pci \times \eta_c}$$

Dove:

pci = potere calorifico inferiore ( 43,3 MJ/kg gasolio )

 $\eta_c$  = rendimento di combustione ( 70 - 80 % )**FATTORE DI COMBUSTIONE:**

$$\beta = A_t \times ( 1 + e )$$

Dove:

 $A_t$  = aria teorica ( 14 per gasolio ) [ kg<sub>aria</sub>/ kg<sub>combustibile</sub> ]

e = eccesso d'aria ( 30 % per gasolio )

**PORTATA DI FUMI:**

$$G_f = G_c \times (\beta + 1)$$

Dove:

G<sub>c</sub> = portata di combustibile [ kg / s ]β = fattore di combustione ( 18,2 per gasolio )  
[ kg<sub>aria</sub> / kg<sub>combustibile</sub> ]

Le caratteristiche del combustibile le si possono trovare alle tabelle 10.2/4/5/6.

**6.8 - SURRISCALDATORE ( sur. ):****POTENZA NECESSARIA AL SURRISCALDATORE:**

$$P_{sur} = ( H_3 - H_{3'} ) \times G_{vap} \text{ [ kW ]}$$

Dove:

H<sub>3</sub> = entalpia punto 3 [ kJ/kg ]H<sub>3'</sub> = entalpia punto 3' [ kJ/kg ]G<sub>vap</sub> = portata di vapore [ kg/s ]**POTENZA CEDUTA DAI FUMI AL SURRISCALDATORE:**

$$P_{sur} = c_{sf} \times ( T_{if} - T_{uf} ) \times G_f \text{ [ kW ]}$$

Dove:

c<sub>sf</sub> = calore specifico dei fumi [ 1,05 kJ / ( kg x °C ) ]T<sub>if</sub> = temperatura di ingresso dei fumi ( 700-800 °C )T<sub>uf</sub> = temperatura di uscita dei fumi ( 350-400 °C )G<sub>f</sub> = portata dei fumi [ kg/s ]**DIFFERENZA DI TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA AL SURRISCALDATORE:**

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln ( \Delta T_{max} / \Delta T_{min} )}$$

Dove:

ΔT = differenze di temperature max e min

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL SURRISCALDATORE:**

$$S_s = \frac{P_{sur}}{K_s \times \Delta T_{ml}}$$

Dove:

K<sub>s</sub> = coefficiente globale di trasmissione[ 35-58 W / ( m<sup>2</sup> x °C ) ]

**6.9 - ECONOMIZZATORE ( eco. ):****POTENZA NECESSARIA ALL'ECONOMIZZATORE:**

$$P_{eco} = ( H_{2'} - H_2 ) \times G_{vap} \text{ [ kW ]} \text{ Dove:}$$

$H_{2'}$  = entalpia punto 2' [ kJ/kg ]

$H_2$  = entalpia punto 2 [ kJ/kg ]

$G_{vap}$  = portata di vapore [ kg/s ]

**POTENZA CEDUTA DAI FUMI ALL'ECONOMIZZATORE:**

$$P_{eco} = c_{sf} \times ( T_{if} - T_{uf} ) \times G_f \text{ [ kW ]}$$

Dove:

$c_{sf}$  = calore specifico dei fumi [ 1,05 kJ / ( kg x °C ) ]

$T_{if}$  = temperatura di ingresso dei fumi ( 350-400 °C )

$T_{uf}$  = temperatura di uscita dei fumi ( 150-250 °C )

$G_f$  = portata dei fumi [ kg/s ]

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA ALL'ECONOMIZZATORE:**

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln ( \Delta T_{max} / \Delta T_{min} )} \text{ Dove:}$$

$\Delta T$  = differenze di temperature max e min

**SUPERFICIE DI SCAMBIO DELL'ECONOMIZZATORE:**

$$S_e = \frac{P_{eco}}{K_e \times \Delta T_{ml}} \text{ Dove:}$$

$K_e$  = coefficiente globale di trasmissione  
[ 21-24 W / ( m<sup>2</sup> x °C ) ]

**6.10 - PRERISCALDATORE D'ARIA:****VANTAGGI:**

Con l'adozione di un preriscaldatore d'aria si può ottenere un risparmio di combustibile del 2 - 3 %.

Le temperature in uso sono:

Temperatura dell'aria ambiente in ingresso:

$T_{ia} = 20 - 40 \text{ °C}$

Temperatura dell'aria in uscita:

$T_{ua} = 200 \text{ °C}$  per comb. liquidi

$T_{ua} = 400 \text{ °C}$  per comb. solidi

Temperatura dei fumi in ingresso:

$T_{if} = 250 - 300 \text{ °C}$

Temperatura dei fumi in uscita:

$T_{uf} = 150 \text{ °C}$  per la condensa

**POTENZA ACQUISTATA DALL'ARIA NEL PRERISCALDATORE:**

$$P_p = c_{sa} \times (T_{ua} - T_{ia}) \times G_a \text{ [ kW ]}$$

Dove:

 $c_{sa}$  = calore specifico dell'aria [ 1,05 kJ / ( kg x °C ) ] $T_{ua}$  = temperatura di uscita dell'aria ( vedi sopra ) $T_{ia}$  = temperatura di ingresso dell'aria ( vedi sopra ) $G_a$  = portata d'aria [ kg/s ]**POTENZA CEDUTA DAI FUMI AL PRERISCALDATORE D'ARIA:**

$$P_p = c_{sf} \times (T_{if} - T_{uf}) \times G_f \text{ [ kW ]}$$

Dove:

 $c_{sf}$  = calore specifico dei fumi [ 1,05 kJ / ( kg x °C ) ] $T_{if}$  = temperatura di ingresso dei fumi ( vedi sopra ) $T_{uf}$  = temperatura di uscita dei fumi ( vedi sopra ) $G_f$  = portata dei fumi [ kg/s ]**DIFFERENZA DI TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA AL PRERISCALDATORE D'ARIA:**

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln (\Delta T_{max} / \Delta T_{min})} \quad \text{Dove:}$$

$\Delta T$  = differenze di temperature max e min

**COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO:**

$$K_p = 7,2 \times \sqrt{v} - 4,65 \text{ [ W / ( m}^2 \text{ x } ^\circ\text{C ) ]}$$

Dove:

 $v$  = velocità dei fumi [ 1 - 1,2 m / s ]**SUPERFICIE DI SCAMBIO DEL PRERISCALDATORE D'ARIA:**

$$S_p = \frac{P_p}{K_p \times \Delta T_{ml}}$$

Dove:

 $K_p$  = coefficiente globale di trasmissione[ W / ( m<sup>2</sup> x °C ) ]

Tabella A.1 Proprietà termodinamiche dell'acqua: liquido saturo - vapore saturo in funzione della temperatura di saturazione

Temp. $T$ [°C]	Pressione assoluta $p$ [kPa]	Volume massico [m <sup>3</sup> /kg]		Entalpia [kJ/kg]			Entropia [kJ/(kg·K)]		
		Liquido saturo $v_f$	Vapore saturo $v_g$	Liquido saturo $h_f$	Vaporizz. $h_{fg}$	Vapore saturo $h_g$	Liquido saturo $s_f$	Vaporizz. $s_{fg}$	Vapore saturo $s_g$
0,01	0,6113	0,001 000	206,14	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001 000	147,12	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001 000	106,38	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,7498	8,9008
15	1,7051	0,001 001	77,93	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,5569	8,7814
20	2,339	0,001 002	57,79	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,3706	8,6672
25	3,169	0,001 003	43,36	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,1905	8,5580
30	4,246	0,001 004	32,89	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001 006	25,22	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	7,8478	8,3531
40	7,384	0,001 008	19,52	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	7,6845	8,2570
45	9,593	0,001 010	15,26	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	7,5261	8,1648
50	12,349	0,001 012	12,03	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	7,3725	8,0763
55	15,758	0,001 015	9,568	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,2234	7,9913
60	19,940	0,001 017	7,671	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,0784	7,9096
65	25,03	0,001 020	6,197	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	6,9375	7,8310
70	31,19	0,001 023	5,042	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	6,8004	7,7553
75	38,58	0,001 026	4,131	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	6,6669	7,6824
80	47,39	0,001 029	3,407	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	6,5369	7,6122
85	57,83	0,001 033	2,828	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	6,4102	7,5445
90	70,14	0,001 036	2,361	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	6,2866	7,4791
95	84,55	0,001 040	1,982	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	6,1659	7,4159
<b><math>p</math> [MPa]</b>									
100	0,101 35	0,001 044	1,6729	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	6,0480	7,3549
105	0,120 82	0,001 048	1,4194	440,15	2243,7	2683,8	1,3630	5,9328	7,2958
110	0,143 27	0,001 052	1,2102	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	5,8202	7,2387
115	0,169 06	0,001 056	1,0366	482,48	2216,5	2699,0	1,4734	5,7100	7,1833
120	0,198 53	0,001 060	0,8919	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	5,6020	7,1296
125	0,2321	0,001 065	0,7706	524,99	2188,5	2713,5	1,5813	5,4962	7,0775
130	0,2701	0,001 070	0,6685	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	5,3925	7,0269
135	0,3130	0,001 075	0,5822	567,69	2159,6	2727,3	1,6870	5,2907	6,9777
140	0,3613	0,001 080	0,5089	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	5,1908	6,9299
145	0,4154	0,001 085	0,4463	610,63	2129,6	2740,3	1,7907	5,0926	6,8833
150	0,4758	0,001 091	0,3928	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	4,9960	6,8379
155	0,5431	0,001 096	0,3468	653,84	2098,6	2752,4	1,8925	4,9010	6,7935
160	0,6178	0,001 102	0,3071	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	4,8075	6,7502
165	0,7005	0,001 108	0,2727	697,34	2066,2	2763,5	1,9925	4,7153	6,7078
170	0,7917	0,001 114	0,2428	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	4,6244	6,6663
175	0,8920	0,001 121	0,2168	741,17	2032,4	2773,6	2,0909	4,5347	6,6256
180	1,0021	0,001 127	0,194 05	763,22	2015,0	2778,2	2,1396	4,4461	6,5857
185	1,1227	0,001 134	0,174 09	785,37	1997,1	2782,4	2,1879	4,3586	6,5465
190	1,2544	0,001 141	0,156 54	807,62	1978,8	2786,4	2,2359	4,2720	6,5079
195	1,3978	0,001 149	0,141 05	829,98	1960,0	2790,0	2,2835	4,1863	6,4698
200	1,5538	0,001 157	0,127 36	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	4,1014	6,4323
205	1,7230	0,001 164	0,115 21	875,04	1921,0	2796,0	2,3780	4,0172	6,3952
210	1,9062	0,001 173	0,104 41	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	3,9337	6,3585
215	2,104	0,001 181	0,094 79	920,62	1879,9	2800,5	2,4714	3,8507	6,3221

Temp. T [°C]	Pressione assoluta p [MPa]	Volume massico [m³/kg]		Entalpia [kJ/kg]			Entropia [kJ/(kg·K)]		
		Liquido saturo $v_f$	Vapore saturo $v_g$	Liquido saturo $h_f$	Vaporizz. $h_{fg}$	Vapore saturo $h_g$	Liquido saturo $s_f$	Vaporizz. $s_{fg}$	Vapore saturo $s_g$
220	2,318	0,001 190	0,086 19	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	3,7683	6,2861
225	2,548	0,001 199	0,078 49	966,78	1836,5	2803,3	2,5639	3,6863	6,2503
230	2,795	0,001 209	0,071 58	990,12	1813,8	2804,0	2,6099	3,6047	6,2146
235	3,060	0,001 219	0,065 37	1013,62	1790,5	2804,2	2,6558	3,5233	6,1791
240	3,344	0,001 229	0,059 76	1037,32	1766,5	2803,8	2,7015	3,4422	6,1437
245	3,648	0,001 240	0,054 71	1061,23	1741,7	2803,0	2,7472	3,3612	6,1083
250	3,973	0,001 251	0,050 13	1085,36	1716,2	2801,5	2,7927	3,2802	6,0730
255	4,319	0,001 263	0,045 98	1109,73	1689,8	2799,5	2,8383	3,1992	6,0375
260	4,688	0,001 276	0,042 21	1134,37	1662,5	2796,9	2,8838	3,1181	6,0019
265	5,081	0,001 289	0,038 77	1159,28	1634,4	2793,6	2,9294	3,0368	5,9662
270	5,499	0,001 302	0,035 64	1184,51	1605,2	2789,7	2,9751	2,9551	5,9301
275	5,942	0,001 317	0,032 79	1210,07	1574,9	2785,0	3,0208	2,8730	5,8938
280	6,412	0,001 332	0,030 17	1235,99	1543,6	2779,6	3,0668	2,7903	5,8571
285	6,909	0,001 348	0,027 77	1262,31	1511,0	2773,3	3,1130	2,7070	5,8199
290	7,436	0,001 366	0,025 57	1289,07	1477,1	2766,2	3,1594	2,6227	5,7821
295	7,993	0,001 384	0,023 54	1316,3	1441,8	2758,1	3,2062	2,5375	5,7437
300	8,581	0,001 404	0,021 67	1344,0	1404,9	2749,0	3,2534	2,4511	5,7045
305	9,202	0,001 425	0,019 948	1372,4	1366,4	2738,7	3,3010	2,3633	5,6643
310	9,856	0,001 447	0,018 350	1401,3	1326,0	2727,3	3,3493	2,2737	5,6230
315	10,547	0,001 472	0,016 867	1431,0	1283,5	2714,5	3,3982	2,1821	5,5804
320	11,274	0,001 499	0,015 488	1461,5	1238,6	2700,1	3,4480	2,0882	5,5362
330	12,845	0,001 561	0,012 996	1525,3	1140,6	2665,9	3,5507	1,8909	5,4417
340	14,586	0,001 638	0,010 797	1594,2	1027,9	2622,0	3,6594	1,6763	5,3357
350	16,513	0,001 740	0,008 813	1670,6	893,4	2563,9	3,7777	1,4335	5,2112
360	18,651	0,001 893	0,006 945	1760,5	720,5	2481,0	3,9147	1,1379	5,0526
370	21,03	0,002 213	0,004 925	1890,5	441,6	2332,1	4,1106	0,6865	4,7971
374,14	22,09	0,003 155	0,003 155	2099,3	0	2099,3	4,4298	0	4,4298

Tabella A.2 Proprietà termodinamiche dell'acqua: liquido saturo - vapore saturo in funzione della pressione di saturazione

Pressione assoluta p [kPa]	Temp. T [°C]	Volume massico [m³/kg]		Entalpia [kJ/kg]			Entropia [kJ/(kg·K)]		
		Liquido saturo $v_f$	Vapore saturo $v_g$	Liquido saturo $h_f$	Vaporizz. $h_{fg}$	Vapore saturo $h_g$	Liquido saturo $s_f$	Vaporizz. $s_{fg}$	Vapore saturo $s_g$
0,6113	0,01	0,001 000	206,14	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	9,1562
1,0	6,98	0,001 000	129,21	29,30	2484,9	2514,2	0,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001 001	87,98	54,71	2470,6	2525,3	0,1957	8,6322	8,8279
2,0	17,50	0,001 001	67,00	73,48	2460,0	2533,5	0,2607	8,4629	8,7237
2,5	21,08	0,001 002	54,25	88,49	2451,6	2540,0	0,3120	8,3311	8,6432
3,0	24,08	0,001 003	45,67	101,05	2444,5	2545,5	0,3545	8,2231	8,5776
4,0	28,96	0,001 004	34,80	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,0520	8,4746
5,0	32,88	0,001 005	28,19	137,82	2423,7	2561,5	0,4764	7,9187	8,3951
7,5	40,29	0,001 008	19,24	168,79	2406,0	2574,8	0,5764	7,6750	8,2515
10	45,81	0,001 010	14,67	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	7,5009	8,1502
15	53,97	0,001 014	10,02	225,94	2373,1	2599,1	0,7549	7,2536	8,0085
20	60,06	0,001 017	7,649	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,0766	7,9085
25	64,97	0,001 020	6,204	271,93	2346,3	2618,2	0,8931	6,9383	7,8314
30	69,10	0,001 022	5,229	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	6,8247	7,7686
40	75,87	0,001 027	3,993	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	6,6441	7,6700
50	81,33	0,001 030	3,240	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	6,5029	7,5939
75	91,78	0,001 037	2,217	384,39	2278,6	2663,0	1,2130	6,2434	7,4564

Pressione assoluta $p$ [MPa]	Temp. $T$ [°C]	Volume massico [m <sup>3</sup> /kg]		Entalpia [kJ/kg]			Entropia [kJ/(kg·K)]		
		Liquido saturo $v_f$	Vapore saturo $v_g$	Liquido saturo $h_f$	Vaporizz. $h_{fg}$	Vapore saturo $h_g$	Liquido saturo $s_f$	Vaporizz. $s_{fg}$	Vapore saturo $s_g$
0,100	99,63	0,001 043	1,6940	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	6,0568	7,3594
0,125	105,99	0,001 048	1,3749	444,32	2241,0	2685,4	1,3740	5,9104	7,2844
0,150	111,37	0,001 053	1,1593	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	5,7897	7,2233
0,175	116,06	0,001 057	1,0036	486,99	2213,6	2700,6	1,4849	5,6868	7,1717
0,200	120,23	0,001 061	0,8857	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	5,5970	7,1271
0,225	124,00	0,001 064	0,7933	520,72	2191,3	2712,1	1,5706	5,5173	7,0878
0,250	127,44	0,001 067	0,7187	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	5,4455	7,0527
0,275	130,60	0,001 070	0,6573	548,89	2172,4	2721,3	1,6408	5,3801	7,0209
0,300	133,55	0,001 073	0,6058	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	5,3201	6,9919
0,325	136,30	0,001 076	0,5620	573,25	2155,8	2729,0	1,7006	5,2646	6,9652
0,350	138,88	0,001 079	0,5243	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	5,2130	6,9405
0,375	141,32	0,001 081	0,4914	594,81	2140,8	2735,6	1,7528	5,1647	6,9175
0,40	143,63	0,001 084	0,4625	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	5,1193	6,8959
0,45	147,93	0,001 088	0,4140	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	5,0359	6,8565
0,50	151,86	0,001 093	0,3749	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	4,9606	6,8213
0,55	155,48	0,001 097	0,3427	655,93	2097,0	2753,0	1,8973	4,8920	6,7893
0,60	158,85	0,001 101	0,3157	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	4,8288	6,7600
0,65	162,01	0,001 104	0,2927	684,28	2076,0	2760,3	1,9627	4,7703	6,7331
0,70	164,97	0,001 108	0,2729	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	4,7158	6,7080
0,75	167,78	0,001 112	0,2556	709,47	2057,0	2766,4	2,0200	4,6647	6,6847
0,80	170,43	0,001 115	0,2404	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	4,6166	6,6628
0,85	172,96	0,001 118	0,2270	732,22	2039,4	2771,6	2,0710	4,5711	6,6421
0,90	175,38	0,001 121	0,2150	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	4,5280	6,6226
0,95	177,69	0,001 124	0,2042	753,02	2023,1	2776,1	2,1172	4,4869	6,6041
1,00	179,91	0,001 127	0,194 44	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	4,4478	6,5865
1,10	184,09	0,001 133	0,177 53	781,34	2000,4	2781,7	2,1792	4,3744	6,5536
1,20	187,99	0,001 139	0,163 33	798,65	1986,2	2784,8	2,2166	4,3067	6,5233
1,30	191,64	0,001 144	0,151 25	814,93	1972,7	2787,6	2,2515	4,2438	6,4953
1,40	195,07	0,001 149	0,140 84	830,30	1959,7	2790,0	2,2842	4,1850	6,4693
1,50	198,32	0,001 154	0,131 77	844,89	1947,3	2792,2	2,3150	4,1298	6,4448
1,75	205,76	0,001 166	0,113 49	878,50	1917,9	2796,4	2,3851	4,0044	6,3896
2,00	212,42	0,001 177	0,099 63	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	3,8935	6,3409
2,25	218,45	0,001 187	0,088 75	936,49	1865,2	2801,7	2,5035	3,7937	6,2972
2,5	223,99	0,001 197	0,079 98	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	3,7028	6,2575
3,0	233,90	0,001 217	0,066 68	1008,42	1795,7	2804,2	2,6457	3,5412	6,1869
3,5	242,60	0,001 235	0,057 07	1049,75	1753,7	2803,4	2,7253	3,4000	6,1253
4	250,40	0,001 252	0,049 78	1087,31	1714,1	2801,4	2,7964	3,2737	6,0701
5	263,99	0,001 286	0,039 44	1154,23	1640,1	2794,3	2,9202	3,0532	5,9734
6	275,64	0,001 319	0,032 44	1213,35	1571,0	2784,3	3,0267	2,8625	5,8892
7	285,88	0,001 351	0,027 37	1267,00	1505,1	2772,1	3,1211	2,6922	5,8133
8	295,06	0,001 384	0,023 52	1316,64	1441,3	2758,0	3,2068	2,5364	5,7432
9	303,40	0,001 418	0,020 48	1363,26	1378,9	2742,1	3,2858	2,3915	5,6772
10	311,06	0,001 452	0,018 026	1407,56	1317,1	2724,7	3,3596	2,2544	5,6141
11	318,15	0,001 489	0,015 987	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	2,1233	5,5527
12	324,75	0,001 527	0,014 263	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	1,9962	5,4924
13	330,93	0,001 567	0,012 780	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	1,8718	5,4323
14	336,75	0,001 611	0,011 485	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	1,7485	5,3717
15	342,24	0,001 658	0,010 337	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	1,6249	5,3098
16	347,44	0,001 711	0,009 306	1650,1	936,6	2580,6	3,7461	1,4994	5,2455
17	352,37	0,001 770	0,008 364	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	1,3698	5,1777
18	357,06	0,001 840	0,007 489	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	1,2329	5,1044
19	361,54	0,001 924	0,006 657	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	1,0839	5,0228
20	365,81	0,002 036	0,005 834	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	0,9130	4,9269
21	369,89	0,002 207	0,004 952	1884,4	446,2	2334,6	4,1075	0,6938	4,8013
22	373,80	0,002 742	0,003 568	2022,2	143,4	2165,6	4,3110	0,2216	4,5327
22,09	374,14	0,003 155	0,003 155	2099,3	0	2099,3	4,4298	0	4,4298

Tabella A.3.2

Proprietà termodinamiche dell'acqua: liquido compresso\*

Unità:  $T$  [°C],  $v$  [m³/kg],  $h$  [kJ/kg],  $s$  [kJ/(kg·K)]

(Temperatura di saturazione tra parentesi)

T	$v$	$h$	$s$	$v$	$h$	$s$	$v$	$h$	$s$
	$p = 5 \text{ MPa (263,99 °C)}$			$p = 10 \text{ MPa (311,06 °C)}$			$p = 15 \text{ MPa (342,24 °C)}$		
Sat.	0,001 285 9	1154,2	2,9202	0,001 452 4	1407,6	3,3596	0,001 658 1	1610,5	3,6848
0	0,000 997 7	5,04	0,0001	0,000 995 2	10,04	0,0002	0,000 992 8	15,05	0,0004
20	0,000 999 5	88,65	0,2956	0,000 997 2	93,33	0,2945	0,000 995 0	97,99	0,2934
40	0,001 005 6	171,97	0,5705	0,001 003 4	176,38	0,5686	0,001 001 3	180,78	0,5666
60	0,001 014,9	255,30	0,8285	0,001 012 7	259,49	0,8258	0,001 010 5	263,67	0,8232
80	0,001 026 8	338,85	1,0720	0,001 024 5	342,83	1,0688	0,001 022 2	346,81	1,0656
100	0,001 041 0	422,72	1,3030	0,001 038 5	426,50	1,2992	0,001 036 1	430,28	1,2955
120	0,001 057 6	507,09	1,5233	0,001 054 9	510,64	1,5189	0,001 052 2	514,19	1,5145
140	0,001 076 8	592,15	1,7343	0,001 073 7	595,42	1,7292	0,001 070 7	598,72	1,7242
160	0,001 098 8	678,12	1,9375	0,001 095 3	681,08	1,9317	0,001 091 8	684,09	1,9260
180	0,001 124 0	765,25	2,1341	0,001 119 9	767,84	2,1275	0,001 115 9	770,50	2,1210
200	0,001 153 0	853,9	2,3255	0,001 148 0	856,0	2,3178	0,001 143 3	858,2	2,3104
220	0,001 186 6	944,4	2,5128	0,001 180 5	945,9	2,5039	0,001 174 8	947,5	2,4953
240	0,001 226 4	1037,5	2,6979	0,001 218 7	1038,1	2,6872	0,001 211 4	1039,0	2,6771
260	0,001 274 9	1134,3	2,8830	0,001 264 5	1133,7	2,8699	0,001 255 0	1133,4	2,8576
280				0,001 321 6	1234,1	3,0548	0,001 308 4	1232,1	3,0393
300				0,001 397 2	1342,3	3,2469	0,001 377 0	1337,3	3,2260
320							0,001 472 4	1453,2	3,4247
340							0,001 631 1	1591,9	3,6546
	$p = 20 \text{ MPa (365,81 °C)}$			$p = 30 \text{ MPa}$			$p = 50 \text{ MPa}$		
Sat.	0,002 036	1826,3	4,0139	0,000 985 6	29,82	0,0001	0,000 976 6	49,03	-0,0014
0	0,000 990 4	20,01	0,0004	0,000 988 6	111,84	0,2899	0,000 980 4	130,02	0,2848
20	0,000 992 8	102,62	0,2923	0,000 988 6	111,84	0,2899	0,000 980 4	130,02	0,2848
40	0,000 999 2	185,16	0,5646	0,000 995 1	193,89	0,5607	0,000 987 2	211,21	0,5527
60	0,001 008 4	267,85	0,8206	0,001 004 2	276,19	0,8154	0,000 996 2	292,79	0,8052
80	0,001 019 9	350,80	1,0624	0,001 015 6	358,77	1,0561	0,001 007 3	374,70	1,0440
100	0,001 033 7	434,06	1,2917	0,001 029 0	441,66	1,2844	0,001 020 1	456,89	1,2703
120	0,001 049 6	517,76	1,5102	0,001 044 5	524,93	1,5018	0,001 034 8	539,39	1,4857
140	0,001 067 8	602,04	1,7193	0,001 062 1	608,75	1,7098	0,001 051 5	622,35	1,6915
160	0,001 088 5	687,12	1,9204	0,001 082 1	693,28	1,9096	0,001 070 3	705,92	1,8891
180	0,001 112 0	773,20	2,1147	0,001 104 7	778,73	2,1024	0,001 091 2	790,25	2,0794
200	0,001 138 8	860,5	2,3031	0,001 130 2	865,3	2,2893	0,001 114 6	875,5	2,2634
220	0,001 169 3	949,3	2,4870	0,001 159 0	953,1	2,4711	0,001 140 8	961,7	2,4419
240	0,001 204 6	1040,0	2,6674	0,001 192 0	1042,6	2,6490	0,001 170 2	1049,2	2,6158
260	0,001 246 2	1133,5	2,8459	0,001 230 3	1134,3	2,8243	0,001 203 4	1138,2	2,7860
280	0,001 296 5	1230,6	3,0248	0,001 275 5	1229,0	2,9986	0,001 241 5	1229,3	2,9537
300	0,001 359 6	1333,3	3,2071	0,001 330 4	1327,8	3,1741	0,001 286 0	1323,0	3,1200
320	0,001 443 7	1444,6	3,3979	0,001 399 7	1432,7	3,3539	0,001 338 8	1420,2	3,2868
340	0,001 568 4	1571,0	3,6075	0,001 492 0	1546,5	3,5426	0,001 403 2	1522,1	3,4557
360	0,001 822 6	1739,3	3,8772	0,001 626 5	1675,4	3,7494	0,001 483 8	1630,2	3,6291
380				0,001 869 1	1837,5	4,0012	0,001 588 4	1746,6	3,8101

\* Le proprietà mancanti nella regione del liquido compresso si possono dedurre da quelle del liquido saturo valutate alla stessa temperatura del liquido compresso.



T	v	h	s	v	h	s	v	h	s			
	p = 15,0 MPa (342,24 °C)			p = 17,5 MPa (354,75 °C)			p = 20,0 MPa (365,81 °C)					
Sat.	0,10	337	2610,5	5,3098	0,007	920	2528,8	5,1419	0,005	834	2409,7	4,9269
350	0,011	470	2692,4	5,4421								
400	0,015	649	2975,5	5,8811	0,012	447	2902,9	5,7213	0,009	942	2818,1	5,5540
450	0,018	445	3156,2	6,1404	0,015	174	3109,7	6,0184	0,012	695	3060,1	5,9017
500	0,020	80	3308,6	6,3443	0,017	358	3274,1	6,2383	0,014	768	3238,2	6,1401
550	0,022	93	3448,6	6,5199	0,019	288	3421,4	6,4230	0,016	555	3393,5	6,3348
600	0,024	91	3582,3	6,6776	0,021	06	3560,1	6,5866	0,018	178	3537,6	6,5048
650	0,026	80	3712,3	6,8224	0,022	74	3693,9	6,7357	0,019	693	3675,3	6,6582
700	0,028	61	3840,1	6,9572	0,024	34	3824,6	6,8736	0,021	13	3809,0	6,7993
800	0,032	10	4092,4	7,2040	0,027	38	4081,1	7,1244	0,023	85	4069,7	7,0544
900	0,035	46	4343,8	7,4279	0,030	31	4335,1	7,3507	0,026	45	4326,4	7,2830
1000	0,038	75	4596,6	7,6348	0,033	16	4589,5	7,5589	0,028	97	4582,5	7,4925
1100	0,042	00	4852,6	7,8283	0,035	97	4846,4	7,7531	0,031	45	4840,2	7,6874
1200	0,045	23	5112,3	8,0108	0,038	76	5106,6	7,9360	0,033	91	5101,0	7,8707
1300	0,048	45	5376,0	8,1840	0,041	54	5370,5	8,1093	0,036	36	5365,1	8,0442
	p = 25,0 MPa			p = 30,0 MPa			p = 35,0 MPa					
375	0,001	973	1848,0	4,0320	0,001	789	1791,5	3,9305	0,001	700	1762,4	3,8722
400	0,006	004	2580,2	5,1418	0,002	790	2151,1	4,4728	0,002	100	1987,6	4,2126
425	0,007	881	2806,3	5,4723	0,005	303	2614,2	5,1504	0,003	428	2373,4	4,7747
450	0,009	162	2949,7	5,6744	0,006	735	2821,4	5,4424	0,004	961	2672,4	5,1962
500	0,011	123	3162,4	5,9592	0,008	678	3081,1	5,7905	0,006	927	2994,4	5,6282
550	0,012	724	3335,6	6,1765	0,010	168	3275,4	6,0342	0,008	345	3213,0	5,9026
600	0,014	137	3491,4	6,3602	0,011	446	3443,9	6,2331	0,009	527	3395,5	6,1179
650	0,015	433	3637,4	6,5229	0,012	596	3598,9	6,4058	0,010	575	3559,9	6,3010
700	0,016	646	3777,5	6,6707	0,013	661	3745,6	6,5606	0,011	533	3713,5	6,4631
800	0,018	912	4047,1	6,9345	0,015	623	4024,2	6,8332	0,013	278	4001,5	6,7450
900	0,021	045	4309,1	7,1680	0,017	448	4291,9	7,0718	0,014	883	4274,9	6,9886
1000	0,023	10	4568,5	7,3802	0,019	196	4554,7	7,2867	0,016	410	4541,1	7,2064
1100	0,025	12	4828,2	7,5765	0,020	903	4816,3	7,4845	0,017	895	4804,6	7,4057
1200	0,027	11	5089,9	7,7605	0,022	589	5079,0	7,6692	0,019	360	5068,3	7,5910
1300	0,029	10	5354,4	7,9342	0,024	266	5344,0	7,8432	0,020	815	5333,6	7,7653
	p = 40,0 MPa			p = 50,0 MPa			p = 60,0 MPa					
375	0,001	641	1742,8	3,8290	0,001	559	1716,6	3,7639	0,001	503	1699,5	3,7141
400	0,001	908	1930,9	4,1135	0,001	730	1874,6	4,0031	0,001	634	1843,4	3,9318
425	0,002	532	2198,1	4,5029	0,002	007	2060,0	4,2734	0,001	817	2001,7	4,1626
450	0,003	693	2512,8	4,9459	0,002	486	2284,0	4,5884	0,002	085	2179,0	4,4121
500	0,005	622	2903,3	5,4700	0,003	897	2720,1	5,1726	0,002	956	2567,9	4,9321
550	0,006	984	3149,1	5,7785	0,005	118	3019,5	5,5485	0,003	956	2896,2	5,3441
600	0,008	094	3346,4	6,0114	0,006	112	3247,6	5,8178	0,004	834	3151,2	5,6452
650	0,009	063	3520,6	6,2054	0,006	966	3441,8	6,0342	0,005	595	3364,5	5,8829
700	0,009	941	3681,2	6,3750	0,007	727	3616,8	6,2189	0,006	272	3553,5	6,0824
800	0,011	523	3978,7	6,6662	0,009	076	3933,6	6,5290	0,007	459	3889,1	6,4109
900	0,012	962	4257,9	6,9150	0,010	283	4224,4	6,7882	0,008	508	4191,5	6,6805
1000	0,014	324	4527,6	7,1356	0,011	411	4501,1	7,0146	0,009	480	4475,2	6,9127
1100	0,015	642	4793,1	7,3364	0,012	496	4770,5	7,2184	0,010	409	4748,6	7,1195
1200	0,016	940	5057,7	7,5224	0,013	561	5037,2	7,4058	0,011	317	5017,2	7,3083
1300	0,018	229	5323,5	7,6969	0,014	616	5303,6	7,5808	0,012	215	5284,3	7,4837

\* Il valore dell'energia u si ottiene, per la definizione di entalpia 15-20, da  $u = h - pv$ .

T	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	p = 4,0 MPa (250,40 °C)			p = 4,5 MPa (257,49 °C)			p = 5,0 MPa (263,99 °C)		
Sat.	0,049 78	2801,4	6,0701	0,044 06	2798,3	6,0198	0,039 44	2794,3	5,9734
275	0,054 57	2886,2	6,2285	0,047 30	2863,2	6,1401	0,041 41	2838,2	6,0544
300	0,058 84	2960,7	6,3615	0,051 35	2943,1	6,2828	0,045 32	2924,5	6,2084
350	0,066 45	3092,5	6,5821	0,058 40	3080,6	6,5131	0,051 94	3068,4	6,4493
400	0,073 41	3213,6	6,7690	0,064 75	3204,7	6,7047	0,057 81	3195,7	6,6459
450	0,080 02	3330,3	6,9363	0,070 74	3323,3	6,8746	0,063 30	3316,2	6,8186
500	0,086 43	3445,3	7,0901	0,076 51	3439,6	7,0301	0,068 57	3433,8	6,9759
600	0,098 85	3674,4	7,3688	0,087 65	3670,5	7,3110	0,078 69	3666,5	7,2589
700	0,110 95	3905,9	7,6198	0,098 47	3903,0	7,5631	0,088 49	3900,1	7,5122
800	0,122 87	4141,5	7,8502	0,109 11	4139,3	7,7942	0,098 11	4137,1	7,7440
900	0,134 69	4382,3	8,0647	0,119 65	4380,6	8,0091	0,107 62	4378,8	7,9593
1000	0,146 45	4628,7	8,2662	0,130 13	4627,2	8,2108	0,117 07	4625,7	8,1612
1100	0,158 17	4880,6	8,4567	0,140 56	4879,3	8,4015	0,126 48	4878,0	8,3520
1200	0,169 87	5138,1	8,6376	0,150 98	5136,9	8,5825	0,135 87	5135,7	8,5331
1300	0,181 56	5400,5	8,8100	0,161 39	5399,4	8,7549	0,145 26	5398,2	8,7055
	p = 6,0 MPa (275,64 °C)			p = 7,0 MPa (285,88 °C)			p = 8,0 MPa (295,06 °C)		
Sat.	0,032 44	2784,3	5,8892	0,027 37	2772,1	5,8133	0,023 52	2758,0	5,7432
300	0,036 16	2884,2	6,0674	0,029 47	2838,4	5,9305	0,024 26	2785,0	5,7906
350	0,042 23	3043,0	6,3335	0,035 24	3016,0	6,2283	0,029 95	2987,3	6,1301
400	0,047 39	3177,2	6,5408	0,039 93	3158,1	6,4478	0,034 32	3138,3	6,3634
450	0,052 14	3301,8	6,7193	0,044 16	3287,1	6,6327	0,038 17	3272,0	6,5551
500	0,056 65	3422,2	6,8803	0,048 14	3410,3	6,7975	0,041 75	3398,3	6,7240
550	0,061 01	3540,6	7,0288	0,051 95	3530,9	6,9486	0,045 16	3521,0	6,8778
600	0,065 25	3658,4	7,1677	0,055 65	3650,3	7,0894	0,048 45	3642,0	7,0206
700	0,073 52	3894,2	7,4234	0,062 83	3888,3	7,3476	0,054 81	3882,4	7,2812
800	0,081 60	4132,7	7,6566	0,069 81	4128,2	7,5822	0,060 97	4123,8	7,5173
900	0,089 58	4375,3	7,8727	0,076 69	4371,8	7,7991	0,067 02	4368,3	7,7351
1000	0,097 49	4622,7	8,0751	0,083 50	4619,8	8,0020	0,073 01	4616,9	7,9384
1100	0,105 36	4875,4	8,2661	0,090 27	4872,8	8,1933	0,078 96	4870,3	8,1300
1200	0,113 21	5133,3	8,4474	0,097 03	5130,9	8,3747	0,084 89	5128,5	8,3115
1300	0,121 06	5396,0	8,6199	0,103 77	5393,7	8,5473	0,090 80	5391,5	8,4842
	p = 9,0 MPa (303,40 °C)			p = 10,0 MPa (311,06 °C)			p = 12,5 MPa (327,89 °C)		
Sat.	0,020 48	2742,1	5,6772	0,018 026	2724,7	5,6141	0,013 495	2673,8	5,4624
325	0,023 27	2856,0	5,8712	0,019 861	2809,1	5,7568			
350	0,025 80	2956,6	6,0361	0,022 42	2923,4	5,9443	0,016 126	2826,2	5,7118
400	0,029 93	3117,8	6,2854	0,026 41	3096,5	6,2120	0,020 00	3039,3	6,0417
450	0,033 50	3256,6	6,4844	0,029 75	3240,9	6,4190	0,022 99	3199,8	6,2719
500	0,036 77	3386,1	6,6576	0,032 79	3373,7	6,5966	0,025 60	3341,8	6,4618
550	0,039 87	3511,0	6,8142	0,035 64	3500,9	6,7561	0,028 01	3475,2	6,6290
600	0,042 85	3633,7	6,9589	0,038 37	3625,3	6,9029	0,030 29	3604,0	6,7810
650	0,045 74	3755,3	7,0943	0,041 01	3748,2	7,0398	0,032 48	3730,4	6,9218
700	0,048 57	3876,5	7,2221	0,043 58	3870,5	7,1687	0,034 60	3855,3	7,0536
800	0,054 09	4119,3	7,4596	0,048 59	4114,8	7,4077	0,038 69	4103,6	7,2965
900	0,059 50	4364,8	7,6783	0,053 49	4361,2	7,6272	0,042 67	4352,5	7,5182
1000	0,064 85	4614,0	7,8821	0,058 32	4611,0	7,8315	0,046 58	4603,8	7,7237
1100	0,070 16	4867,7	8,0740	0,063 12	4865,1	8,0237	0,050 45	4858,8	7,9165
1200	0,075 44	5126,2	8,2556	0,067 89	5123,8	8,2055	0,054 30	5118,0	8,0987
1300	0,080 72	5389,2	8,4284	0,072 65	5387,0	8,3783	0,058 13	5381,4	8,2717

\* Il valore dell'energia  $u$  si ottiene, per la definizione di entalpia 15-20, da  $u = h - pv$ .

T	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	p = 1,00 MPa (179,91 °C)			p = 1,20 MPa (187,88 °C)			p = 1,40 MPa (195,07 °C)		
Sat.	0,194 44	2778,1	6,5865	0,163 33	2784,8	6,5233	0,140 84	2790,0	6,4693
200	0,2060	2827,9	6,6940	0,169 30	2815,9	6,5898	0,143 02	2803,3	6,4975
250	0,2327	2942,6	6,9247	0,192 34	2935,0	6,8294	0,163 50	2927,2	6,7467
300	0,2579	3051,2	7,1229	0,2138	3045,8	7,0317	0,182 28	3040,4	6,9534
350	0,2825	3157,7	7,3011	0,2345	3153,6	7,2121	0,2003	3149,5	7,1360
400	0,3066	3263,9	7,4651	0,2548	3260,7	7,3774	0,2178	3257,5	7,3026
500	0,3541	3478,5	7,7622	0,2946	3476,3	7,6759	0,2521	3474,1	7,6027
600	0,4011	3697,9	8,0290	0,3339	3696,3	7,9435	0,2860	3694,8	7,8710
700	0,4478	3923,1	8,2731	0,3729	3922,0	8,1881	0,3195	3920,8	8,1160
800	0,4943	4154,7	8,4996	0,4118	4153,8	8,4148	0,3528	4153,0	8,3431
900	0,5407	4392,9	8,7118	0,4505	4392,2	8,6272	0,3861	4391,5	8,5556
1000	0,5871	4637,6	8,9119	0,4892	4637,0	8,8274	0,4192	4636,4	8,7559
1100	0,6335	4888,6	9,1017	0,5278	4888,0	9,0172	0,4524	4887,5	8,9457
1200	0,6798	5145,4	9,2822	0,5665	5144,9	9,1977	0,4855	5144,4	9,1262
1300	0,7261	5407,4	9,4543	0,6051	5407,0	9,3698	0,5186	5406,5	9,2984
	p = 1,60 MPa (201,41 °C)			p = 1,80 MPa (207,15 °C)			p = 2,00 MPa (212,42 °C)		
Sat.	0,123 80	2794,0	6,4218	0,110 42	2797,1	6,3794	0,099 63	2799,5	6,3409
225	0,132 87	2857,3	6,5518	0,116 73	2846,7	6,4808	0,103 77	2835,8	6,4147
250	0,141 84	2919,2	6,6732	0,124 97	2911,0	6,6066	0,111 44	2902,5	6,5453
300	0,158 62	3034,8	6,8844	0,140 21	3029,2	6,8226	0,125 47	3023,5	6,7664
350	0,174 56	3145,4	7,0694	0,154 57	3141,2	7,0100	0,138 57	3137,0	6,9563
400	0,190 05	3254,2	7,2374	0,168 47	3250,9	7,1794	0,151 20	3247,6	7,1271
500	0,2203	3472,0	7,5390	0,195 50	3469,8	7,4825	0,175 68	3467,6	7,4317
600	0,2500	3693,2	7,8080	0,2220	3691,7	7,7523	0,199 60	3690,1	7,7024
700	0,2794	3919,7	8,0535	0,2482	3918,5	7,9983	0,2232	3917,4	7,9487
800	0,3086	4152,1	8,2808	0,2742	4151,2	8,2258	0,2467	4150,3	8,1765
900	0,3377	4390,8	8,4935	0,3001	4390,1	8,4386	0,2700	4389,4	8,3895
1000	0,3668	4635,8	8,6938	0,3260	4635,2	8,6391	0,2933	4634,6	8,5901
1100	0,3958	4887,0	8,8837	0,3518	4886,4	8,8290	0,3166	4885,9	8,7800
1200	0,4248	5143,9	9,0643	0,3776	5143,4	9,0096	0,3398	5142,9	8,9607
1300	0,4538	5406,0	9,2364	0,4034	5405,6	9,1818	0,3631	5405,1	9,1329
	p = 2,50 MPa (223,99 °C)			p = 3,00 MPa (233,90 °C)			p = 3,50 MPa (242,60 °C)		
Sat.	0,079 98	2803,1	6,2575	0,066 68	2804,2	6,1869	0,057 07	2803,4	6,1253
225	0,080 27	2806,3	6,2639						
250	0,087 00	2880,1	6,4085	0,070 58	2855,8	6,2872	0,058 72	2829,2	6,1749
300	0,098 90	3008,8	6,6438	0,081 14	2993,5	6,5390	0,068 42	2977,5	6,4461
350	0,109 76	3126,3	6,8403	0,090 53	3115,3	6,7428	0,076 78	3104,0	6,6579
400	0,120 10	3239,3	7,0148	0,099 36	3230,9	6,9212	0,084 53	3222,3	6,8405
450	0,130 14	3350,8	7,1746	0,107 87	3344,0	7,0834	0,091 96	3337,2	7,0052
500	0,139 98	3462,1	7,3234	0,116 19	3456,5	7,2338	0,099 18	3450,9	7,1572
600	0,159 30	3686,3	7,5960	0,132 43	3682,3	7,5085	0,113 24	3678,4	7,4339
700	0,178 32	3914,5	7,8435	0,148 38	3911,7	7,7571	0,126 99	3908,8	7,6837
800	0,197 16	4148,2	8,0720	0,164 14	4145,9	7,9862	0,140 56	4143,7	7,9134
900	0,215 90	4387,6	8,2853	0,179 80	4385,9	8,1999	0,154 02	4384,1	8,1276
1000	0,2346	4633,1	8,4861	0,195 41	4631,6	8,4009	0,167 43	4630,1	8,3288
1100	0,2532	4884,6	8,6762	0,210 98	4883,3	8,5912	0,180 80	4881,9	8,5192
1200	0,2718	5141,7	8,8569	0,226 52	5140,5	8,7720	0,194 15	5139,3	8,7000
1300	0,2905	5404,0	9,0291	0,242 06	5402,8	8,9442	0,207 49	5401,7	8,8723

\* Il valore dell'energia  $u$  si ottiene, per la definizione di entalpia 15-20, da  $u = h - pv$ .

Tabella A.3.1

Proprietà termodinamiche dell'acqua: vapore surriscaldato\*  
 Unità:  $T$  [°C],  $v$  [m³/kg],  $h$  [kJ/kg],  $s$  [kJ/(kg·K)]  
 (Temperatura di saturazione tra parentesi)

$T$	$v$	$h$	$s$	$v$	$h$	$s$	$v$	$h$	$s$
	$p = 0,010$ MPa (45,81 °C)			$p = 0,050$ MPa (81,33 °C)			$p = 0,10$ MPa (99,63 °C)		
Sat.	14,674	2584,7	8,1502	3,240	2645,9	7,5939	1,6940	2675,5	7,3594
50	14,869	2592,6	8,1749						
100	17,196	2687,5	8,4479	3,418	2682,5	7,6947	1,6958	2676,2	7,3614
150	19,512	2783,0	8,6882	3,889	2780,1	7,9401	1,9364	2776,4	7,6134
200	21,825	2879,5	8,9038	4,356	2877,7	8,1580	2,172	2875,3	7,8343
250	24,136	2977,3	9,1002	4,820	2976,0	8,3556	2,406	2974,3	8,0333
300	26,445	3076,5	9,2813	5,284	3075,5	8,5373	2,639	3074,3	8,2158
400	31,063	3279,6	9,6077	6,209	3278,9	8,8642	3,103	3278,2	8,5435
500	35,679	3489,1	9,8978	7,134	3488,7	9,1546	3,565	3488,1	8,8342
600	40,295	3705,4	10,1608	8,057	3705,1	9,4178	4,028	3704,7	9,0976
700	44,911	3928,7	10,4028	8,981	3928,5	9,6599	4,490	3928,2	9,3398
800	49,526	4159,0	10,6281	9,904	4158,9	9,8852	4,952	4158,6	9,5652
900	54,141	4396,4	10,8396	10,828	4396,3	10,0967	5,414	4396,1	9,7767
1000	58,757	4640,6	11,0393	11,751	4640,5	10,2964	5,875	4640,3	9,9764
1100	63,372	4891,2	11,2287	12,674	4891,1	10,4859	6,337	4891,0	10,1659
1200	67,987	5147,8	11,4091	13,597	5147,7	10,6662	6,799	5147,6	10,3463
1300	72,602	5409,7	11,5811	14,521	5409,6	10,8382	7,260	5409,5	10,5183
	$p = 0,20$ MPa (120,23 °C)			$p = 0,30$ MPa (133,55 °C)			$p = 0,40$ MPa (143,63 °C)		
Sat.	0,8857	2706,7	7,1272	0,6058	2725,3	6,9919	0,4625	2738,6	6,8959
150	0,9596	2768,8	7,2795	0,6339	2761,0	7,0778	0,4708	2752,8	6,9299
200	1,0803	2870,5	7,5066	0,7163	2865,6	7,3115	0,5342	2860,5	7,1706
250	1,1988	2971,0	7,7086	0,7964	2967,6	7,5166	0,5951	2964,2	7,3789
300	1,3162	3071,8	7,8926	0,8753	3069,3	7,7022	0,6548	3066,8	7,5662
400	1,5493	3276,6	8,2218	1,0315	3275,0	8,0330	0,7726	3273,3	7,8985
500	1,7814	3487,1	8,5133	1,1867	3486,0	8,3251	0,8893	3484,9	8,1913
600	2,013	3704,0	8,7770	1,3414	3703,2	8,5892	1,0055	3702,4	8,4558
700	2,244	3927,6	9,0194	1,4957	3927,1	8,8319	1,1215	3926,5	8,6987
800	2,475	4158,2	9,2449	1,6499	4157,8	9,0576	1,2372	4157,3	8,9244
900	2,706	4395,8	9,4566	1,8041	4395,4	9,2692	1,3529	4395,1	9,1362
1000	2,937	4640,0	9,6563	1,9581	4639,7	9,4690	1,4685	4639,4	9,3360
1100	3,3168	4890,7	9,8458	2,1121	4890,4	9,6585	1,5840	4890,2	9,5256
1200	3,399	5147,3	10,0262	2,2661	5147,1	9,8389	1,6996	5146,8	9,7060
1300	3,630	5409,3	10,1982	2,4201	5409,0	10,0110	1,8151	5408,8	9,8780
	$p = 0,50$ MPa (151,86 °C)			$p = 0,60$ MPa (158,85 °C)			$p = 0,80$ MPa (170,43 °C)		
Sat.	0,3749	2748,7	6,8213	0,3157	2756,8	6,7600	0,2404	2769,1	6,6628
200	0,4249	2855,4	7,0592	0,3520	2850,1	6,9665	0,2608	2839,3	6,8158
250	0,4744	2960,7	7,2709	0,3938	2957,2	7,1816	0,2931	2950,0	7,0384
300	0,5226	3064,2	7,4599	0,4344	3061,6	7,3724	0,3241	3056,5	7,2328
350	0,5701	3167,7	7,6329	0,4742	3165,7	7,5464	0,3544	3161,7	7,4089
400	0,6173	3271,9	7,7938	0,5137	3270,3	7,7079	0,3843	3267,1	7,5716
500	0,7109	3483,9	8,0873	0,5920	3482,8	8,0021	0,4433	3480,6	7,8673
600	0,8041	3701,7	8,3522	0,6697	3700,9	8,2674	0,5018	3699,4	8,1333
700	0,8969	3925,9	8,5952	0,7472	3925,3	8,5107	0,5601	3924,2	8,3770
800	0,9896	4156,9	8,8211	0,8245	4156,5	8,7367	0,6181	4155,6	8,6033
900	1,0822	4394,7	9,0329	0,9017	4394,4	8,9486	0,6761	4393,7	8,8153
1000	1,1747	4639,1	9,2328	0,9788	4638,8	9,1485	0,7340	4638,2	9,0153
1100	1,2672	4889,9	9,4224	1,0559	4889,6	9,3381	0,7919	4889,1	9,2050
1200	1,3596	5146,6	9,6029	1,1330	5146,3	9,5185	0,8497	5145,9	9,3855
1300	1,4521	5408,6	9,7749	1,2101	5408,3	9,6906	0,9076	5407,9	9,5575

\* Il valore dell'energia  $u$  si ottiene, per la definizione di entalpia 15-20, da  $u = h - pv$ .

**7 - MOTORI ENDOTERMICI:****7.1 - CONSUMO DI COMBUSTIBILE:**

$$G_c = g_c \times 2 \times n \times Z / (t \times 60) \text{ [ kg/s ]}$$

Dove:

 $g_c$  = consumo di combustibile per ogni cilindro [ kg ] $n$  = numero di giri al minuto [ g/min ] $Z$  = numero di cilindri $t$  = numero di tempi**7.2 - POTENZA DISPONIBILE:**

$$P_0 = G_c \times pci$$

Dove:

 $G_c$  = portata di combustibile [ kg /s ] $pci$  = potere calorifico inferiore del comb. [ kJ/kg ]**7.3 - POTENZA TEORICA:**

$$P = \eta \times P_0$$

Dove:

 $\eta$  = rendimento ciclo termico di riferimento**7.4 - POTENZA INDICATA:**

$$P_i = \eta_i \times P$$

Dove:

 $\eta_i$  = rendimento interno

$$P_i = 2,567 \times p_{mi} \times d^2 \times C \times n \times Z / t \text{ [ kW ]}$$

 $p_{mi}$  = pressione media indicata [ kg /cm<sup>2</sup> ] $d$  = alesaggio [ cm ] $C$  = corsa [ cm ] $n$  = numero di giri al minuto [ g/min ] $Z$  = numero di cilindri $t$  = numero di tempi

$$P_i = 0,1096 \times \eta \times \eta_i \times \mu \times \gamma_a \times d^2 \times C \times pci \times n \times Z / (t \times \alpha) \text{ [ kW ]}$$

 $\eta$  = rendimento ciclo termico di riferimento $\eta_i$  = rendimento interno $\mu$  = coefficiente di riempimento $\gamma_a$  = peso specifico aria aspirata $d$  = alesaggio [ cm ] $C$  = corsa [ cm ] $pci$  = potere calorifico inferiore del comb. [ kJ/kg ] $n$  = numero di giri al minuto [ g/min ] $Z$  = numero di cilindri $t$  = numero di tempi $\alpha$  = rapporto di miscela [ kg<sub>aria</sub>/kg<sub>comb.</sub> ]

**7.5 - POTENZA EFFETTIVA:**

$$P_e = P_i \times \eta_m$$

Dove:

 $P_i$  = potenza indicata [ kW ] $\eta_m$  = rendimento meccanico

$$P_e = P \times \eta_e = P \times \eta_i \times \eta_m$$

Dove:

 $P$  = potenza teorica [ kW ] $\eta_e$  = rendimento effettivo $\eta_i$  = rendimento interno $\eta_m$  = rendimento meccanico**7.6 - PERDITE:****CALORE ASPORTATO DAI GAS DI SCARICO ( 25 - 35 % ):**

$$Q_f = G_f \times c_f \times ( T_f - T_a )$$

Dove:

 $G_f$  = portata di fumi [ kg/s ] $c_f$  = calore specifico dei fumi $T_f$  = temperatura dei fumi $T_a$  = temperatura dell'aria**CALORE ASPORTATO DAL FLUIDO REFRIGERANTE ( 20 - 30 % ):**

$$Q_r = G_r \times c_r \times ( T_{ur} - T_{ir} )$$

Dove:

 $G_r$  = portata di refrigerante [ kg/s ] $c_r$  = calore specifico del refrigerante [ kW / (kg x °C) ] $T_{ur}$  = temperatura di uscita del refrigerante $T_{ir}$  = temperatura di ingresso del refrigerante**CALORE DISSIPATO PER ATTRITI E DAGLI ORGANI AUSILIARI ( 10 % ):**

$$Q_m = P_e \times ( 1/\eta_m - 1 )$$

Dove:

 $P_e$  = potenza effettiva [ kW ] $\eta_m$  = rendimento meccanico**CALORE DISSIPATO VERSO L'ESTERNO ( 1 - 2 % ):**

$$Q_d = P_0 \times 1,5 \%$$

Dove:

 $P_0$  = potenza disponibile [ kW ]

**7.7 - RECUPERO DI CALORE NEI GAS DI SCARICO:****PORTATA D'ARIA COMBURENTE:**

$$G_{aria} = G_c \times \beta$$

Dove:

 $\beta$  = rapporto di combustione ( per motori diesel 20 )**PORTATA DEI FUMI:**

$$G_{fumi} = G_c + G_{aria}$$

**CALORE POTENZIALMENTE PRESENTE NEI FUMI:**

$$Q_f = G_{fumi} \times c_s(\text{fumi}) \times (T_{fumi} - T_{ambiente})$$

Dove:

 $c_s$  = calore specifico dei fumi [ 1,05 kJ/(kg x °C) ] $T_{fumi}$  = temperatura dei fumi [ 600-700 °C ]**PORTATA DI VAPORE RICAVABILE CON SCAMBIO AL 100%:**

$$G_{H_2O} = \frac{Q_f}{(H_3' - H_2)}$$

Dove:

 $Q_f$  = calore presente nei fumi $H_3'$  = entalpia a vapore saturo secco $H_2$  = entalpia all'entrata del generatore**7.8 -DIMENSIONAMENTO:****PORTATA DI ARIA PER OGNI PROCESSO:**

$$g_a = G_{aria} \times t / ( 2 \times 60 \times n \times Z ) [ \text{kg/processo} ]$$

Dove:

 $G_{aria}$  = consumo di aria [ kg/s ] $n$  = numero di giri al minuto [ g/min ] $Z$  = numero di cilindri $t$  = numero di tempi**VOLUME DI OGNI CILINDRO:**

$$V_c = g_a / ( \gamma_a \times \eta_v ) [ \text{m}^3 ]$$

Dove:

 $g_a$  = portata di aria per processo [ kg/processo ] $\eta_v$  = rendimento volumetrico [ 80% ] $\gamma_a$  = peso specifico dell'aria [ 1,2 kg/m<sup>3</sup> ]

**RAPPORTO CORSA/DIAMETRO:**

$$c/d = 1,3$$

**ALESAGGIO:**

$$d = \frac{4 \times V_c}{\pi \times 1,3}$$

Dove:

 $V_c = \text{volume di ogni cilindro [ m}^3 \text{ ]}$ **8 - TURBINE A GAS:**



## 9 - COMPRESSORI:

### 9.1 - LAVORO:

$$L = [(p_a \times V_a \times n) / (n - 1)] \times [1 - (p_x \times p_a)^{(n-1)/n}]$$

Dove:

$p_a$  = pressione in aspirazione [ Pa ]

$V_a$  = volume aspirato [ m<sup>3</sup> ]

$n$  = coefficiente di elevazione ( 1,3 per l'aria )

$p_x$  = pressione in uscita [ Pa ]

### 9.2 - DIMENSIONAMENTO DEL COMPRESSORE:

#### RAPPORTO DI COMPRESSIONE:

$$\rho = \frac{p_x}{p_a}$$

Dove:

$p_x$  = pressione in mandata o stato intermedio

$p_a$  = pressione in aspirazione

#### COEFFICIENTE DI RIEMPIMENTO:

$$\lambda = 1 - \varepsilon \times (\rho - 1)$$

Dove:

$\varepsilon$  = spazio nocivo ( 1/50 )

#### ALESAGGIO:

$$d = \sqrt{\frac{2 \times V_a}{\pi \times \lambda \times \gamma}}$$

Dove:

$V_a$  = volume aspirato [ m<sup>3</sup> ]

$\gamma$  = peso specifica dell'aria ( 1,2 kg/m<sup>3</sup> )

#### CORSA:

$$l = d \times 1,2$$

#### VOLUME GENERATO:

$$V_g = \frac{\pi \times d^2}{4} \times l$$

Dove:

$l$  = corsa del pistone [ m ]

$d$  = diametro cilindro [ m ]

#### CILINDRATA:

$$C = \frac{V_g}{n^\circ \times 60}$$

Dove:

$n^\circ$  = numero di giri ( generalmente 1000 g / min )

**POTENZA ASSORBITA:**

$$P_a = (V_a \times p_a \times \ln p_a/p_x) / \eta_c$$

Dove:

$p_a$  = pressione in aspirazione [ Pa ]

$V_a$  = volume aspirato [ m<sup>3</sup>/s ]

$\eta_c$  = rendimento del compressore ( 0,8 )

$p_x$  = pressione in uscita [ Pa ]

**10 - TABELLE VARIE:**

Tabella A.8

Proprietà termodinamiche dell'aria a bassa pressione

$T$ [K]	$h$ [kJ/kg]	$u$ [kJ/kg]	$s^\circ$ [kJ/(kg·K)]
100	99,76	71,06	1,4143
200	199,96	142,56	2,1088
300	300,19	214,09	2,5153
400	400,98	286,19	2,8052
500	503,02	359,53	3,0328
600	607,02	434,80	3,2223
700	713,27	512,37	3,3861
800	821,94	592,34	3,5312
900	932,94	674,63	3,6619
1000	1046,03	759,02	3,7810
1100	1161,07	845,34	3,8906
1200	1277,79	933,40	3,9922
1300	1395,97	1022,88	4,0868
1400	1515,41	1113,62	4,1753
1500	1635,99	1205,47	4,2585

Tabella A.9

Caratteristiche dei combustibili solidi

Sostanza	Umidità	Ceneri	Carbonio	Idrogeno	Ossigeno	Azoto	Zolfo	Potere calorifico inferiore [MJ/kg]
	Valori medi [% in massa]							
Legno secco	20	1	39,5	4	35	0,5	—	15,0
Torba secca	30	5	36,0	3,6	23,1	1,6	0,7	13,0
Lignite	10	6	48,9	4,3	27,8	1,7	1,3	22,0
Carboni secchi	8	3	55,7	5,5	25,4	1,1	1,3	34,0
Carboni grassi	2,2	5	76,8	5,3	8,4	1,3	1,0	31,3
Carboni magri	2,1	5,2	80,9	4,7	4,8	1,3	1,0	32,4
Antraciti	1,3	5	83,1	3,9	4,4	1,5	0,8	33,5
Coke metallurgico	0,4	9	87,5	0,7	0,1	1,3	1,0	30,0
Coke di petrolio	1,1	1,2	90,4	3,0	2,8	0,7	0,8	34,2

Tabella A.12

Composizione semplificata dell'aria considerata nella combustione

	Azoto %	Ossigeno %	Azoto/Ossigeno	Aria/Ossigeno
Volume	79,0	21,0	3,76	4,76
Massa	76,8	23,2	3,31	4,31

Massa molecolare equivalente  $M = 28,97 \text{ kg/kmole} \approx 29 \text{ kg/kmole}$ .

Per tener conto dell'umidità si considera un grado di umidità  $\omega = 0,013 \text{ kg di acqua / kg di aria secca}$  (aria standard): tale condizione corrisponde a un'umidità relativa  $\Phi = 60\%$  e a una temperatura del bulbo secco  $T_{bs} = 27^\circ \text{C}$ .

Tabella A.10

## Combustibili liquidi

Sostanza	Massa volumica [kg/dm <sup>3</sup> ]	Costituenti principali [% in massa]	Intervallo di distillazione [°C]	Calore latente di vaporizzazione [kJ/kg]	Potere calorifico inferiore [MJ/kg]	Temperatura di accensione [°C]	Aria teorica richiesta [kg/kg]	Limiti di accensione inferiore superiore [% in volume di vapori in aria]
Benzina normale	0,715 ÷ 0,755	86 C, 14 H	25 ÷ 215	380 ÷ 500	43,6	≈ 300	14,8	≈ 0,6 ≈ 8
Benzina super	0,730 ÷ 0,760	86 C, 14 H	25 ÷ 215	—	44	≈ 400	14,7	—
Benzina per aviazione*	0,720	85 C, 15 H	40 ÷ 180	—	44	≈ 500	—	≈ 0,7 ≈ 8
Cherosene	0,77 ÷ 0,83	87 C, 13 H	170 ÷ 260	—	43,5	≈ 250	14,5	≈ 0,6 ≈ 7,5
Gasolio	0,815 ÷ 0,855	86 C, 13 H	180 ÷ 360	≈ 250	43,3	≈ 250	14,5	≈ 0,6 ≈ 6,5
Petrolio greggio	0,70 ÷ 1,0	80 ÷ 83 C, 10 ÷ 14 H	25 ÷ 390	222 ÷ 352	39,8 ÷ 46,1	≈ 220	—	≈ 0,6 ≈ 6,5
Oli pesanti di catrame	0,850 ÷ 0,90	84 C, 11 H	200 ÷ 390	—	40,2 ÷ 41,9	—	13,5	—
Olio combustibile	1,0 ÷ 1,10	85 C, 12 H	200 ÷ 390	—	40 ÷ 42	—	—	—
n - Pentano	0,63	83 C, 17 H	36	352	45,4	285	15,4	1,4 7,8
n - Esano	0,66	84 C, 16 H	69	331	44,7	240	15,2	1,2 7,4
n - Eptano	0,68	84 C, 16 H	98	310	44,4	220	15,2	1,1 6,7
n - Esadecano	0,88	85 C, 15 H	—	226	43,5	—	14,96	—
Isoottano	0,69	84 C, 16 H	99	297	44,6	410	15,2	1 6
Benzolo	0,88	92 C, 8 H	80	394	40,2	550	13,3	1,2 8
Toluolo	0,87	91 C, 9 H	110	364	40,6	530	13,4	1,2 7
Xilolo	0,88	91 C, 9 H	144	339	40,6	460	13,7	1 7,6
Etere (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	0,72	64 C, 14H, 22O	35	377	34,3	170	7,7	1,7 36
Acetone (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	0,79	62 C, 10C, 28O	56	523	28,5	540	9,4	2,5 13
Etanolo C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0,79	52 C, 13H, 35O	78	904	26,8	420	9	3,5 15
Metanolo CH <sub>3</sub> OH	0,79	38 C, 12H, 50O	65	1110	19,7	450	6,4	5,5 26

Viscosità cinematica  $\nu$  a 20 °C in mm<sup>2</sup>/s (centistokes):

benzina ≈ 0,6; gasolio ≈ 4; etanolo ≈ 1,5; metanolo ≈ 0,75

\* Motori ad accensione comandata per aviazione.

Tabella A.11  
Combustibili gassosi

Sostanza	Massa volumica a 0°C [kg/m³]	Costituenti principali [% in massa]	Punto di ebollizione a 101,3 kPa [°C]	Potere calorifico inferiore riferito a miscela aria-combustibile [MJ/m³]*		Temper. di accensione [°C]	Aria teorica richiesta [kg/kg]	Limiti di accensione [% in volume di gas in aria]	
				[MJ/kg]*	[MJ/m³]*			inferiore	superiore
Gas di petrolio liquefatto (GPL)	2,25**	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	- 30	46,1	3,39	≈ 400	15,5	1,5	15
Gas di città	0,56 ÷ 0,61	50 H, 8 CO, 30 CH <sub>4</sub>	- 210	≈ 30	≈ 3,25	≈ 560	10	4	40
Gas naturale	≈ 0,83	76 C, 24 H	- 162	47,7	—	—	—	—	—
Gas d'acqua	0,71	50 H, 38 CO	—	15,1	3,10	≈ 600	4,3	6	72
Gas d'altoforno	1,28	28 CO, 59 N, 12 CO <sub>2</sub>	- 170	3,20	1,88	≈ 600	0,75	≈ 30	≈ 75
Biogas***	—	46 CH <sub>4</sub> , 54 CO <sub>2</sub>	—	27,2****	3,22	—	—	—	—
Idrogeno	0,090	100 H	- 253	120,0	2,97	560	34	4	77
Monossido di carbonio	1,25	100 CO	- 191	10,05	3,48	605	2,5	12,5	75
Metano	0,72	75 C, 25 H	- 162	50,0	3,22	650	17,2	5	15
Acetilene	1,17	93 C, 7 H	- 81	48,1	4,38	305	13,25	1,5	80
Etano	1,36	80 C, 20 H	- 88	47,5	—	515	16,12	3	14
Etilene	1,26	86 C, 14 H	- 102	47,1	—	425	14,7	2,75	34
Propano	2,0**	82 C, 18 H	- 43	46,3	3,35	470	15,6	1,9	9,5
Propilene	1,92	86 C, 14 H	- 47	45,8	—	450	14,7	2	11
Butano	2,7**	83 C, 17 H	- 10; + 1****	45,6	3,39	365	15,4	1,5	8,5
Butene	2,5	86 C, 14 H	- 5; + 1****	45,2	—	—	14,8	1,7	9

\* Per passare da MJ/kg di combustibile a MJ/m³ di miscela aria-combustibile, si veda il Paragrafo 22.7.

\*\* Massa volumica del GPL allo stato liquido: 0,54 kg/dm³; massa volumica del propano liquido: 0,51 kg/dm³; massa volumica del butano liquido: 0,58 kg/dm³.

\*\*\* Il biogas purificato contiene il 95% di metano (CH<sub>4</sub>) e ha un potere calorifico inferiore H<sub>i</sub> = 37,7 MJ/kg.

\*\*\*\* Il primo valore si riferisce all'isobutano; il secondo valore al n-butano o al butene.

Tabella VIII - Aria teorica ( $A_t$ ) - Eccesso d'aria ( $e$ ) - Potere calorifico superiore ( $P_s$ ) ed inferiore ( $P_i$ ) di alcuni combustibili

Tipo di combustibile	Aria teorica $A_t$ ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Eccesso aria $e$	Potere calorifico $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	
			Superiore $P_s$	Inferiore $P_i$
a) Solidi				
Legno	4,6	1÷2	13.800	7.700
Torba	4,8	1÷2	14.200	8.100
Ligniti	5,5÷7,4	1÷2	16.000÷22.000	11.700÷15.800
Litantraci	9,4÷10,8	1÷1,5	30.000÷33.000	29.000÷32.000
Antraciti	10,4	1÷1,5	31.500	30.700
Coke da litantrace	10,1	1÷1,5	30.500	29.800
b) Liquidi				
Petrolio greggio	14,5	0,3÷0,4	44.000	41.500
Benzolo	13,3	0,4÷0,4	41.800	40.100
Benzina avio	14,8	0,3÷0,4	47.300	43.900
Benzina auto	14,8	0,3÷0,4	47.200	43.900
Benzina pesante	14,6	0,3÷0,4	46.600	43.600
Kerosene	14,8	0,3÷0,4	46.500	43.500
Gasolio	14,3	0,3÷0,4	45.800	42.900
Olio medio fluido	14,2	0,3÷0,4	44.700	41.800
Mazout	14,0	0,3÷0,4	44.000	41.200
Nafte	13,3÷13,8	0,3÷0,4	42.600÷43.500	40.100÷40.900
Olio combustibile	13,9	0,3÷0,4	43.700	41.000
c) Gassosi				
Metano	17,27	0,1÷0,2	51.300	50.000
Gas naturale	~ 7,0	0,1÷0,2	52.000	46.500
Gas d'aria	13,2	0,1÷0,2	36.600	33.800
Gas d'acqua	~ 5,0	0,1÷0,2	16.800	14.000
Gas misto	~ 1,1	0,1÷0,2	3.400÷4.100	2.800÷3.700
Propano	15,7	0,1÷0,2	50.400	46.400
Butano	15,5	0,1÷0,2	49.600	45.800

Tabella A.6

## Proprietà di alcuni gas perfetti

(La capacità termica massica a pressione costante  $c_p$ ,  
la capacità termica massica a volume costante  $c_v$ ,  
e il loro rapporto  $\gamma$  sono dati alla temperatura di 300 K)

Gas	Formula chimica	Massa molecolare [kg/kmole]	$R$ [kJ/(kg · K)]	$c_p$ [kJ/(kg · K)]	$c_v$ [kJ/(kg · K)]	$\gamma$
Aria	—	28,97	0,287 00	1,0035	0,7165	1,400
Argon	Ar	39,948	0,208 13	0,5203	0,3122	1,667
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,124	0,143 04	1,7164	1,5734	1,091
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	44,01	0,188 92	0,8418	0,6529	1,289
Monossido di carbonio	CO	28,01	0,296 83	1,0413	0,7445	1,400
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	0,276 50	1,7662	1,4897	1,186
Etilene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,054	0,296 37	1,5482	1,2518	1,237
Elio	He	4,003	2,077 03	5,1926	3,1156	1,667
Idrogeno	H <sub>2</sub>	2,016	4,124 18	14,2091	10,0849	1,409
Metano	CH <sub>4</sub>	16,04	0,518 35	2,2537	1,7354	1,299
Neon	Ne	20,183	0,411 95	1,0299	0,6179	1,667
Azoto	N <sub>2</sub>	28,013	0,296 80	1,0416	0,7448	1,400
Ottano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	0,072 79	1,7113	1,6385	1,044
Ossigeno	O <sub>2</sub>	31,999	0,259 83	0,9216	0,6618	1,393
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,097	0,188 55	1,6794	1,4909	1,126
Vapor d'acqua	H <sub>2</sub> O	18,015	0,461 52	1,8723	1,4108	1,327

Tabella A.7

Capacità termica massica a pressione costante  $c_p$ ,  
capacità termica massica a volume costante  $c_v$  e loro rapporto  $\gamma$   
in funzione della temperatura per alcuni gas perfetti aventi capacità termica variabile

Temperatura [K]	$c_p$ [kJ/(kg · K)]	$c_v$ [kJ/(kg · K)]	$\gamma$	$c_p$ [kJ/(kg · K)]	$c_v$ [kJ/(kg · K)]	$\gamma$
	Aria			Argon (Ar)		
300	1,0035	0,7165	1,400	0,5203	0,3122	1,667
400	1,013	0,7263	1,395	0,5204	0,3122	1,667
500	1,029	0,7424	1,386	0,5204	0,3122	1,667
600	1,051	0,7639	1,376	0,5204	0,3122	1,667
700	1,075	0,7878	1,365	0,5204	0,3122	1,667
800	1,099	0,8116	1,354	0,5204	0,3122	1,667
	Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )			Idrogeno (H <sub>2</sub> )		
300	0,8418	0,6529	1,289	14,2091	10,0849	1,409
400	0,9390	0,7501	1,252	14,48	10,35	1,399
500	1,014	0,8250	1,229	14,51	10,39	1,397
600	1,075	0,8863	1,213	14,55	10,42	1,396
700	1,126	0,9372	1,201	14,60	10,48	1,393
800	1,169	0,9797	1,193	14,69	10,57	1,390
	Azoto (N <sub>2</sub> )			Ossigeno (O <sub>2</sub> )		
300	1,0416	0,7448	1,400	0,9216	0,6618	1,393
400	1,044	0,7472	1,397	0,9409	0,6810	1,382
500	1,056	0,7591	1,391	0,9716	0,7118	1,365
600	1,075	0,7780	1,382	1,003	0,7431	1,350
700	1,098	0,8010	1,371	1,031	0,7709	1,337
800	1,122	0,8252	1,360	1,054	0,7945	1,327

Tabella 36.1

Rendimento globale raggiungibile con motori termici  
confrontati con i rendimenti ideali

	Rendimento
— Motore ad accensione comandata per trazione leggera .....	0,33
— Motore ad accensione per compressione a iniezione indiretta per trazione leggera .....	0,36
— Motore ad accensione per compressione a iniezione diretta per trazione pesante .....	0,44
— Motore ad accensione per compressione turbocomposito per trazione pesante (*) .....	0,46
— Motore ad accensione per compressione turbocomposito e isolato termicamente per trazione pesante (*) .....	0,49
— Motore ad accensione per compressione per applicazioni stazionarie turbocomposito e con recupero di energia dai gas di scarico e dall'impianto di raffreddamento .....	0,55
— Impianto di turbina a gas per applicazioni stazionarie .....	0,34
— Impianto a ciclo combinato turbina a gas più turbina a vapore .....	0,49
— Impianti con turbina a vapore .....	0,41
— Ciclo Diesel ideale con $\rho = 15$ , $\gamma = 1,41$ , $T_3 = 1000$ K (temperatura di fine compressione) $T_3' = 1950$ K (temperatura di fine combustione) .....	0,61
— Ciclo Otto ideale con $\rho = 10$ , $\gamma = 1,41$ .....	0,61
— Ciclo di Carnot ideale con temperature estreme $T_s = 1950$ K e $T_i = 300$ K .....	0,85

(\*) Motori ancora in fase di sviluppo



TABELLA XXX *Caratteristiche dei combustibili*A) *Combustibili solidi*

Combustibile	Composizione % sul campione puro in peso							Potere calorifico [kcal kp <sup>-1</sup> ]	
	Umidità	Ceneri	C	H	O	N	S	H <sub>a</sub>	H <sub>i</sub>
Legno essiccato naturale	15 ÷ 30	0,5 ÷ 1	49,8	6,1	43,8	0,3	tracce	4500	3200
Torba essiccata	25 ÷ 40	5 ÷ 25	57,5	5,7	33,25	2,5	1,05	5300	2800
Lignite: torbosa	25 ÷ 35	15 ÷ 30	63,0	4,8	27,7	1,5	3,0	5700	3050
xiloide	20 ÷ 30	8 ÷ 15	67,0	5,5	23,5	2,3	1,7	6150	3050
picea	10 ÷ 15	10 ÷ 13	74,0	5,5	16,6	2,2	1,7	7300	5400
Litantrace	1,0 ÷ 2,0	2 ÷ 5	91,0	4,2	2,8	1,0	1,0	8500	7830
Antracite	1,0 ÷ 1,5	2 ÷ 5	92,9	3,65	2,4	2,4	1,05	8600	8000
Coke da gas	0,5 ÷ 10	7 ÷ 12	96,6	0,7	2,0	2,0	0,7	7980	6900
Coke metallurgico	0,5 ÷ 2,0	7 ÷ 10	97,0	0,55	1,75	1,75	0,7	7965	7200

B) *Combustibili liquidi*

Combustibile	Composizione % sul campione puro in peso							Potere calorifico [kcal kp <sup>-1</sup> ]	
	Umidità	Ceneri	C	H	O	N	S	H <sub>a</sub>	H <sub>i</sub>
Nafta (dens. 0,92 ÷ 0,96)	1 ÷ 2	—	85 ÷ 86	12 ÷ 13	1,3 ÷ 1,8	—	0,8 ÷ 2,5	10200 ÷ 10600	9600 ÷ 10000
Oli pesanti di ca- trame	1 ÷ 2	—	88 ÷ 90	5 ÷ 8	2,5 ÷ 3,0	—	0,5 ÷ 1,5	8800 ÷ 9100	8400 ÷ 8700

C) *Combustibili gassosi*

Combustibile	Composizione volumetrica % (a 15 °C e 760 [mm Hg])							Potere calorifico infer. [kcal Nm <sup>-3</sup> ]	
	CH <sub>4</sub>	altri idrocarburi	CO <sub>2</sub>	O	N	H	CO		
Metano naturale	95,6	2,6	0,1	0,2	1,5	—	—		8544
Gas di cokeria	55 ÷ 60	6,0	—	—	15 ÷ 20	5 ÷ 6	15 ÷ 18		6000 ÷ 6500
Gas di alto forno	—	—	8	—	60	—	28		800 ÷ 1000

TABELLA XXXIII Valori indicativi dell'eccesso d'aria

combustibile e tipo di focolare	$n$
carbone fossile, caricamento a mano	1,7 ÷ 2,0
carbone fossile, caricamento meccanico	1,4 ÷ 1,7
carbone fossile, su griglia mobile	1,35 ÷ 1,55
ligniti con griglia meccanica	1,3 ÷ 1,4
antracite e coke	1,4
petrolio e nafta	1,1 ÷ 1,2
gas	1,1 ÷ 1,25
polverino di carbone, focolari non a fusione di scorie	1,15 ÷ 1,25
polverino di carbone, focolari a fusione di scorie	1,05 ÷ 1,10

Tabella XVIII - Valori medi dei rendimenti e del consumo specifico di combustibile

Tipo di motore	$\eta_i$	$\eta_c$	$\eta_g$	$\eta_r$	$q_b$	
					$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$	$g \cdot (CV \cdot h)^{-1}$
Carburazione a 4 tempi e 2 tempi	0,340 ÷ 0,460	0,65 ÷ 0,85	0,165 ÷ 0,295	0,65 ÷ 0,95	300 ÷ 475	220 ÷ 350
Diesel a 4 tempi	0,474 ÷ 0,590	0,65 ÷ 0,80	0,23 ÷ 0,38	0,75 ÷ 0,85	375 ÷ 225	275 ÷ 166
Diesel a 2 tempi	0,474 ÷ 0,514	0,70 ÷ 0,85	0,26 ÷ 0,37	0,80 ÷ 0,95	325 ÷ 230	240 ÷ 170

Tabella IX - Temperature teoriche di combustione

Combustibile	composizione %			$P_i$ $kJ \cdot kg^{-1}$	temperatura di combustione $^{\circ}C$
	Incombusti	C	H		
Carbon fossile	9	83	5,7	30700	2220
Lignite	54,1	29,8	2,4	~ 12000	1820
Legno	25,6	36,8	4,5	7700	1820
Gasolio	0,4	85,9	12,0	42900	2135
Gas illuminante	$H_2$	=	47,5	~ 16000	2180
	$CH_4$	=	18,5		
	$C_m H_n$	=	2,4		
	CO	=	16,0		

Tabella XV - Vapor d'acqua - Temperatura di ebollizione ( $t_e$ ), entalpia ( $H$ ) e calore latente di vaporizzazione ( $r$ ) in funzione alla pressione.

Pressione $p$ (bar)	temperatura di ebollizione $t_e$ (°C)	entalpia del liquido $H_l$ (kJ·kg <sup>-1</sup> )	entalpia del vapore saturo $H_s$ (kJ·kg <sup>-1</sup> )	calore latente di vaporizzazione $r$ (kJ·kg <sup>-1</sup> )
(punto triplo) 0,006112	0,010	0,00	2501,60	2501,60
0,01	6,983	29,34	2514,40	24,85,06
0,02	17,513	73,46	2533,60	24,60,14
0,03	24,100	101,00	2545,60	2444,60
0,04	28,983	121,41	2554,50	2433,09
0,05	32,898	137,77	25,61,60	2423,83
0,06	36,183	141,50	2567,50	2416,00
0,08	41,534	173,86	2577,10	2403,24
0,1	45,833	191,83	2584,80	2392,97
0,2	60,086	251,45	2609,90	2358,45
0,3	69,124	289,30	2625,40	2336,10
0,4	75,886	317,65	2636,90	2319,25
0,5	81,345	340,56	2646,00	2305,44
0,6	85,954	259,93	2653,60	2293,67
0,7	89,959	376,77	2660,10	2283,33
0,8	93,512	391,72	2665,80	2274,08
0,9	96,713	405,21	2670,90	2265,69
1,0	99,632	417,51	2675,40	2257,89
1,5	111,32	466,90	2693,25	2226,35
2,0	120,23	504,7	2706,3	2201,6
2,5	127,41	525,3	2716,4	2191,1
3,0	133,54	561,4	2724,7	2163,3
3,5	138,87	584,3	2731,6	2147,3
4,0	143,62	604,7	2737,6	2132,9
4,5	147,92	623,2	2642,9	2119,7
5,0	151,84	640,1	2747,5	2108,4
6,0	158,84	670,4	2755,5	2085,1
7,0	164,96	697,1	2762,0	2064,9
8,0	170,41	721,0	2767,5	2046,5
9,0	175,36	742,7	2772,1	2029,4
10	179,88	762,6	2776,2	2013,6
12	187,96	798,4	2782,7	1984,3
14	195,04	830,1	2787,8	1957,7
16	201,37	858,6	2791,7	1933,1
18	207,11	884,6	2794,8	1910,2
20	212,37	908,6	2797,2	1888,6
25	223,94	962,0	2800,9	1838,9
30	233,84	1008,4	2801,3	1792,9
35	242,54	1049,8	2802,0	1752,2
40	250,33	1087,4	2800,3	1712,9
45	257,41	1122,1	2797,7	1675,6
50	263,91	1154,5	2794,2	1639,7
55	269,93	1184,9	2789,9	1605,0
60	275,55	1213,7	2785,0	1571,3
65	280,82	1241,1	2779,5	1538,4
70	285,79	1267,4	2773,5	1506,1
80	294,97	1317,1	2759,9	1442,8
90	303,31	1363,7	2744,6	1380,9
100	310,96	1408,0	2727,7	1319,7
120	324,65	1491,8	2689,2	1197,4
140	336,64	1571,6	2642,4	1070,8
160	347,33	1650,5	2584,9	934,4
180	356,96	1734,8	2513,9	779,1
200	365,70	1826,5	2418,4	591,9
220	373,69	2011,1	2195,6	184,5
(punto critico) 221,2	374,15	2107,4	2107,4	0

## Dimensionamento dei canali d'aria

### Diagramma di selezione dei canali circolari in lamiera zincata.

Il diagramma è riferito ad aria a 15°C, 760 mm Hg, con peso specifico di 1,22 Kg/m<sup>3</sup>. Esso tuttavia può venire usato senza introdurre correzioni per temperature dell'aria da 10°C a 50°C, e ad altezza sul livello del mare fino a 700 metri.

### Esempio di impiego

**Dati:** Canale circolare rettilineo in lamiera, lunghezza m. 14, diametro mm 400, percorso da 6000 m<sup>3</sup>/h.

Determinare la velocità media dell'aria e la perdita di carico per metro lineare e totale.

**Soluzione:** Individuare sul diagramma il punto di intersezione tra l'orizzontale della portata d'aria di 6000 m<sup>3</sup>/h e la retta obliqua corrispondente al diametro di 400 mm (contrassegnato da un cerchietto). La retta obliqua passante per il punto, quasi perpendicolare a quella del diametro, dà la velocità dell'aria che è di circa 14 m/s.

Per determinare la perdita di carico, si traccia una verticale verso il basso e si legge sulla scala orizzontale il valore di 0,55 mm C.A. per metro lineare.

La perdita di carico dell'intero canale sarà: (0,55 x 14) = 7,7 mm C.A.

### Fattori di correzione per materiali diversi dalla lamiera

La tabella riporta i fattori di correzione Q per l'impiego di materiali diversi dalla lamiera, in funzione della velocità dell'aria. E' sufficiente moltiplicare il valore di perdita di carico del canale in lamiera zincata, per il fattore correttivo Q del materiale voluto, onde ottenere la perdita di carico effettiva.

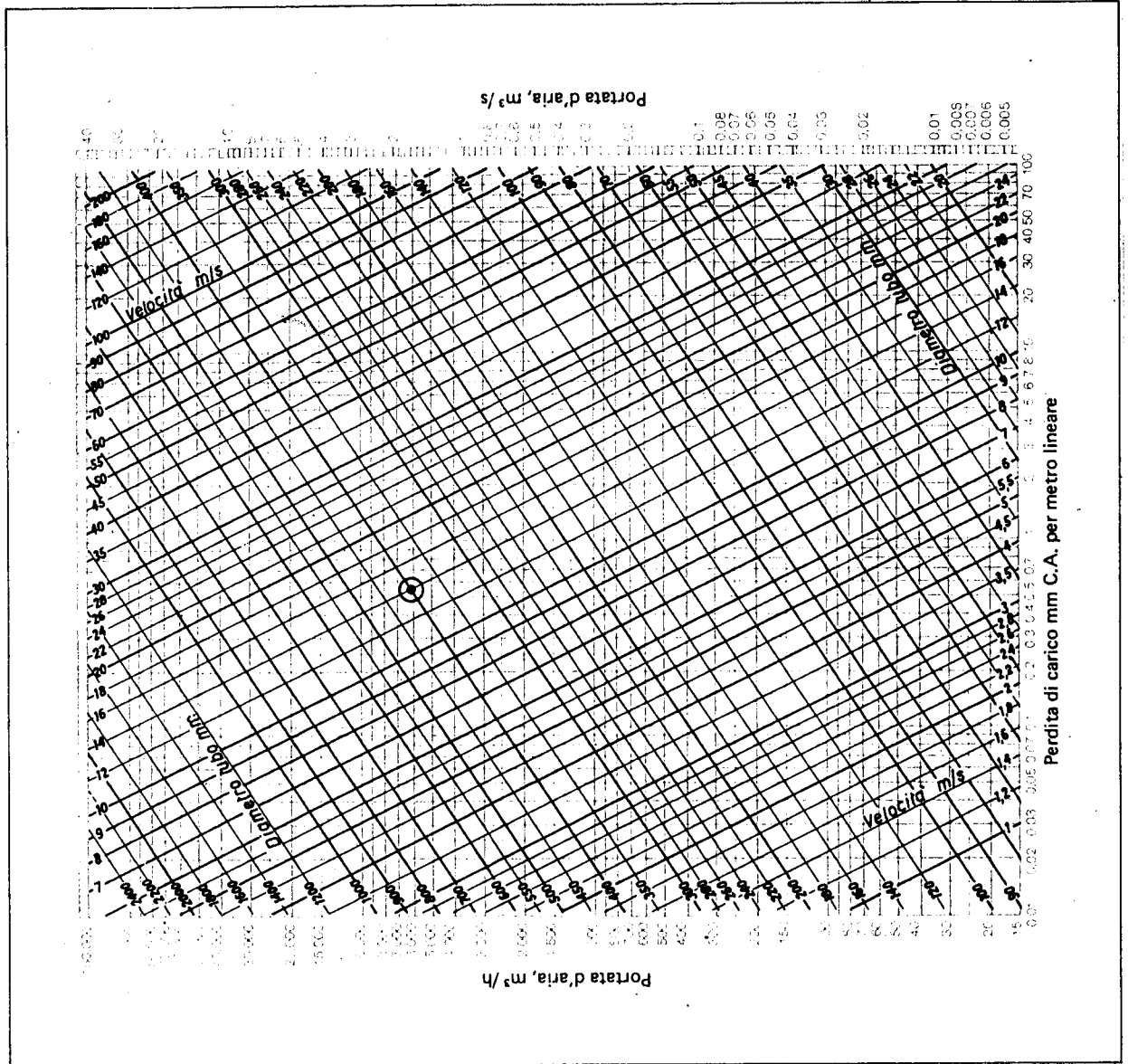
Ad esempio: se il canale del precedente esempio fosse stato in PVC anziché in lamiera, la perdita di carico sarebbe stata:

(0,55 x 0,90) = 0,50 mm C.A. per metro lineare.

### Fattori di correzione Q per materiali diversi

Rugosità	Esempio di materiale	Fattori Q per vel. aria m/s
		5 15 25 50
Rugosità elevata	muratura grezza	1,85 2,07 2,15 2,22
Rugosità media	cemento Eternit	1,35 1,45 1,50 1,55
Rugosità bassa	PVC	0,95 0,90 0,85 0,80
Rugosità minima	vetro	0,90 0,80 0,75 0,65

La Technik S.p.A. non dovrà ritenersi in alcun modo responsabile per errori o danni derivanti dall'impiego del presente modulo di calcolo.



Perdita di carico mm C.A. per metro lineare

Velocità dell'aria e pressione dinamica pd

Vel. aria m/s	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40
Press. din. mm. C.A.	0,24	0,54	1	1,6	2,2	3	4	5	6	9	12	16	20	25	30	36	42	48	56	76	100

Modifiche di percorso dei canali

**Cambio di sezione**

$\alpha$	5°	7,5°	10°	15°	22 1/2°	30°	45°
K	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	0,8	0,9

F = Superficie  
 $F_1/F_2$  0,2 0,4 0,6 0,8  
 K 0,45 0,3 0,2 0,1

**Biforcazioni**

$\alpha$	10	30	45	60
K	0,1	0,3	0,7	1

K = 1,4

**Curve**

R/D	0,5	0,75	1	1,5	2	
K	3 Sqg	1,3	0,8	0,5	0,3	0,25

$\alpha$  10 30 45 60 90  
 K 0,05 0,2 0,5 0,7 1,2 1,4

**Ingresso e scarico**

R/D	0,25	0,5	0,75
K	0,2	0,1	0,05

$\alpha$  15 30 45 60  
 K 0,5 0,3 0,3 0,4

**Curve**

R/W	0,5	0,75	1	1,5	2
K	0,5	0,25	0,15	0,1	0,1

$\alpha$  15 30 45 60 90  
 K 0,1 0,3 0,5 0,7 1,2 1,4

**Ingresso e scarico**

R/D	0,25	0,5	0,75
K	0,2	0,1	0,05

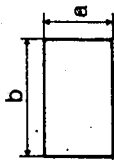
$\alpha$  15 30 45 60  
 K 0,5 0,3 0,3 0,4

**Curve**

R/W	0,5	0,75	1	1,5	2
K	0,5	0,25	0,15	0,1	0,1

$\alpha$  15 30 45 60 90  
 K 0,1 0,3 0,5 0,7 1,2 1,4

Dimensioni equivalenti di canali rettangolari



a \ b	150	200	250	300	350	400	450	500
250	210	245	275					
300	230	265	300	330				
350	245	285	325	355	380			
400	260	305	345	370	410	440		
450	275	320	365	400	435	465	490	
500	290	340	380	425	455	490	520	545
550	300	350	400	440	475	515	545	575
600	310	365	415	460	495	535	565	600
650	320	380	430	475	515	555	590	625
700	330	390	445	490	535	575	610	645
750	340	400	455	505	550	590	630	665
800	350	415	470	520	565	610	650	685
850	360	430	485	535	580	625	670	710
900	370	445	500	550	600	645	685	725
950	380	460	515	565	615	660	705	745
1000	390	475	530	580	630	675	720	760
1200	420	510	565	620	680	730	780	830
1400	450	545	605	665	725	780	835	880
1600	480	580	640	700	765	820	875	920
1800	510	615	675	735	795	850	905	950

Dimensioni equivalenti di canali rettangolari

La tabella fornisce le dimensioni di canali rettangolari equivalenti a canali circolari, a parità di perdita di carico e portata d'aria. I diametri dei canali circolari sono riportati entro la tabella stessa. Le due colonne: a) orizzontale e b) verticale, danno le dimensioni equivalenti del canale rettangolare, come da figura. Ad esempio: al canale con diametro di 400 mm - determinato in precedenza - corrispondono le seguenti dimensioni a) x b): 200x750; 250x550; 300x450 mm.

A parità di portata d'aria e di perdita di carico per metro lineare.

Perdite di carico accidentali

Per determinare le perdite di carico accidentali nel circuito dei canali è necessario:

- 1) Determinare il tipo di modifica del percorso dei canali e rilevare il valore K corrispondente.
- 2) Determinare il valore della pressione dinamica pd in funzione della velocità dell'aria (nella tabellina).
- 3) Moltiplicare K x pd.

**BIBLIOGRAFIA:**

- [1] MACCHINE TERMICHE Vol.2 , *Giorgio Cornetti* , Ed: il capitello TORINO  
 [2] CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA E REFRIGERAZIONE , *Carlo Pizzetti* , Ed: MASSON  
 [3] MACCHINE TERMICHE , *C.Caldò-F.Farinatti-M.Venturelli* , Ed: CALDERINI  
 [4] SISTEMA 5 (elementi di tecnica della refrigerazione),*Studio Anselmi (MILANO)*, Ed:Carlo Eisner spa  
 [5] CORSO DI MACCHINE Vol.2, *Cipriano Pidotella*, Ed: ZANICHELLI  
 [6] IMPIANTI FRIGORIFERI Vol.1, *Pierre J.Rapin*, Ed: TECNICHE NUOVE  
 [7] IMPIANTI FRIGORIFERI Vol.2, *Pierre J.Rapin*, ed: TECNICHE NUOVE  
 [8] RISCALDAMENTO VENTILAZIONE CONDIZIONAMENTO RICUPERO ENERGETICO IMPIANTI SANITARI, *C.Rumor / G.Strohmenger*, Ed: HOEPI

**RIFERIMENTI TABELLE:**

Tab 1.1	[4]	Tabella 13 pag 120
Tab 1.2	[4]	Tabella 12 pag 111
Tab 1.3	[4]	Tabella 18 pag 159
Tab 2.1	[4]	pag 12
Tab 2.2	[4]	pag 14
Tab 2.3	[4]	pag 14
Tab 2.4	[4]	pag 15
Tab 2.5	[4]	pag 15
Tab 2.6	[4]	pag 19
Tab 3.1	[1]	A.4 pag 704
Tab 3.2a	[1]	A.5 pag 705
Tab 3.2b	[1]	A.5 pag 706
Tab 3.3a	[2]	pag 964
Tab 3.3b	[2]	pag 965
Tab 3.3c	[2]	pag 966
Tab 4.1a	[8]	Tab 4.8 pag 476
Tab 4.1b	[8]	Tab 4.9 pag 477
Tab 4.1c	[8]	Tab 4.10 pag 478
Tab 4.1d	[8]	Tab 4.11 pag 479
Tab 4.1e	[8]	Tab 4.12 pag 480
Tab 4.3	[8]	Tab 4.7 pag 475
Tab 4.4	[8]	Tab 4.5 pag 474
Tab 4.9	[8]	Tab 4.3 pag 467
Tab 4.12	[8]	Tab 4.4 pag 470
Tab 4.2	[2]	Tab 3.5 pagg 130-131
Tab 4.5	[2]	A.4 pag 951
Tab 4.6	[2]	Tab 3.1 pag 103
Tab 4.7	[2]	Tab 19.2a pag 811
Tab 4.8	[2]	Tab 2.5 pag 82
Tab 4.10	[2]	Tab 2.6 pag 88
Tab 4.11	[2]	Tab 2.9 pag 94
Tab 5.1	[5]	Tab 4 pag 9
Tab 6.1	[1]	Tab A.1
Tab 6.2	[1]	Tab A.2
Tab 6.3	[1]	Tab A.3.1 pag 699
Tab 6.4	[1]	Tab A.3.2 pag 702
Tab 10.1	[1]	Tab A.8 pag 708
Tab 10.2	[1]	Tab A.9 pag 708
Tab 10.3	[1]	Tab A.12 pag 708
Tab 10.4	[1]	Tab A.10 pag 709

Tab 10.5	[1]	Tab A.11 pag 710
Tab 10.6	[3]	Tab VIII pag 10
Tab 10.7	[1]	Tab A.6
Tab 10.8	[1]	Tab A.7
Tab 10.9	[1]	Tab 36.1 pag 548
Tab 10.10	[3]	Tab XXX pag 296
Tab 10.11	[3]	Tab XXXIII pag 301
Tab 10.12	[3]	Tab XVIII pag 159
Tab 10.13	[3]	Tab IX pag 14
Tab 10.14	[3]	Tab XV pag 56

**RIFERIMENTI GRAFICI:**

Graf 1.4	[2]	Fig 7.6 pag 297
Graf 2.1	[4]	pag 15
Graf 2.2	[4]	pag 11
Grafico entalpico per l'R12		
Diagramma di Mollier (diagramma entalpico) per il vapore d'acqua		
Diagramma Mollier per l'aria umida		

**AUTORI:**

Marco & Simone

**SCOPO:**

Questo scritto è stato steso per il corso di Termotecnica tenuto dall'Istituto Tecnico Industriale Statale "Giulio Riva" Saronno – Varese.

**COPYRIGHT:**

La riproduzione è consentita senza limiti a patto di non alterare questa pagina.

### 1) Velocita' di efflusso dal distributore :

Siccome analizzo una turbina ad azione il Dh è elaborato totalmente nel distributore

Assumo  $\psi = 0,94$

$$C_e = 91,53 \times \sqrt{(H_3 - H_4) \times \xi}$$

dove  $\xi$  la % di salto entalpico teorico elaborato rispetto alla quota totale teorica

### 2) Angolo di uscita dal distributore :

Non potendo ipotizzare l'altezza delle palette, i triangoli di velocità, il grado di parzializzazione, l'angolo lo ricavo in base al coeff. di velocità periferica ( $\varphi$ ) ammettendo le condizioni di max rendimento.

$$K_u = \frac{\cos \alpha_{1e}}{2z}$$

con  $K_u$  per una turbina a 2 gradini di velocità compreso tra 0,2 e 0,25

da qui,  $\cos \alpha_{1e} = 2z K_u$

e l'angolo  $\alpha_{1e}$  è =  $\arccos 2z K_u$

### 3) Sostituzione di un motore:

Per sostituire un motore di alimentazione della potenza di 2CV ,

con una turbinetta ,è necessario che la turbinetta fornisca una P di 2CV , quindi :

$$Gv \cdot L_u \cdot \eta_{EFF} = 2CV$$

### 4) Area totale degli ugelli distributori :

Ipotizzo  $\varphi$  le perdite fluidodinamiche nei condotti e nei deviatori ,

perciò le condizioni di efflusso sono uguali a quelle di scarico.

$$A = \frac{Gv \cdot V \text{ spec allo scarico}}{3600 C_e \sin \alpha_e}$$

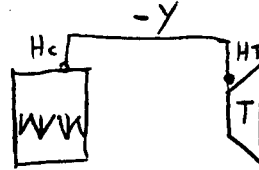


### 5) Perdita di calore nel tratto caldaia - turbina :

Sapendo l'entalpia in uscita caldaia e il valore Y di perdita di calore ( Kcal/Kg) ,

l'entalpia in entrata turbina è data da :

$$H_t = H_{\text{cald}} - Y ,$$



mentre la °T di ingresso in T è data nel diagramma di Mollier prendendo il punto dell'entalpia in ingresso turbina e tracciando una nuova isoterma **PARALLELA** .

### 6) $\phi$ medio della girante per una turbina monoruota a 3 salti di velocità'

$$C_e = 91,53 \sqrt{H_3 - H_4}$$

Assumo un angolo di iniezione  $\alpha$  di 25°

$$U_{\text{max rend.}} = \frac{C_e \cos \alpha}{2Z}$$

$$\text{Il } \phi \text{ medio è : } \frac{60 U_{\text{max rend.}}}{2Z \text{ n}^\circ \text{ giri}}$$

### 7) Potenza effettiva di una turbina :

$$P_{\text{eff}} = P_{\text{tot}} \cdot \eta_t \cdot \eta_m$$

dove :  $\eta_t$  = rendimento della turbina

$\eta_m$  = rendimento meccanico che tiene conto degli attriti fra i vari organi,  
e per l'azionamento del motore.