

GIANNI CESINI  
GIOVANNI LATINI  
FABIO POLONARA

# Fisica tecnica

*seconda edizione*



EDIZIONE DIGITALE SU  
PANDORA  
CAMPUS



**CittaStudi**  
EDIZIONI

# APPROFONDIMENTI

## Capitolo 7

a cura di:  
Gianni Cesini  
Giovanni Latini  
Fabio Polonara

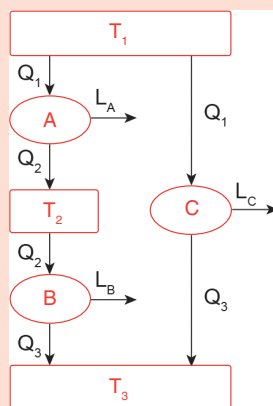
## 2° PRINCIPIO E SISTEMI DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA

### 7.3.1

#### TEMPERATURA TERMODINAMICA

Il teorema e il ciclo di Carnot sono utili anche per definire la scala assoluta delle temperature, in base al fatto che il rendimento di una macchina operante, appunto, secondo il ciclo di Carnot dipende unicamente dalle temperature assolute delle due sorgenti.

Si prendano in considerazione tre cicli di Carnot diretti (A), (B) e (C) disposti come in Figura 7.7.



**Figura 7.7**  
Cicli di Carnot  
diretti

Dal confronto fra l'espressione generale del rendimento di un ciclo (eq. 7.9) e l'espressione del rendimento di un ciclo di Carnot (eq. 7.18) risulta possibile definire il rapporto tra i calori scambiati come:

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = f(T_1, T_2) \quad (7.21)$$

$$\frac{|Q_2|}{|Q_3|} = f(T_2, T_3) \quad (7.22)$$

$$\frac{|Q_1|}{|Q_3|} = f(T_1, T_3) \quad (7.23)$$

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = \frac{|Q_1|}{|Q_3|} / \frac{|Q_2|}{|Q_3|} \quad (7.24)$$

si ottiene:

$$f(T_1, T_2) = \frac{f(T_1, T_3)}{f(T_2, T_3)} \quad (7.25)$$

La  $(T_3)$  può essere scelta arbitrariamente e, poiché non appare a primo membro, può essere eliminata anche dal secondo membro:

$$f(T_1, T_2) = \frac{\varphi(T_1)}{\varphi(T_2)} \quad (7.26)$$

da cui segue:

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = \frac{\varphi(T_1)}{\varphi(T_2)} \quad (7.27)$$

Il rapporto:

$$\frac{\varphi(T_1)}{\varphi(T_2)} \quad (7.28)$$

si può interpretare come rapporto tra due temperature termodinamiche e i valori assoluti delle quantità di calore scambiate dalla macchina di Carnot possono essere viste come variabile termometrica (cfr. § 2.6.3.2). Cioè:

$$\frac{|Q_A|}{|Q_B|} = \frac{\varphi(T_A)}{\varphi(T_B)} \quad (7.29)$$

Tra le molte funzioni  $(\varphi(T))$  che si possono scegliere per soddisfare l'eq. (7.29) c'è anche la più semplice:

$$\varphi(T) = T \quad (7.30)$$

che conduce a:

$$\frac{|Q_A|}{|Q_B|} = \frac{T_A}{T_B} \quad (7.31)$$

e che è la condizione per definire una scala assoluta di temperatura (cfr. § 2.6.3.2).

A questo punto si sceglie come stato fisso il punto triplo dell'acqua e gli si assegna la temperatura di:

$$T_{TR} = 273,16 \quad (7.32)$$

L'intervallo unitario di temperatura, pari alla frazione  $\left(\frac{1}{273,16}\right)$  della temperatura del punto triplo dell'acqua, prende il nome di **kelvin** e si indica con il simbolo [K].

La scelta del valore di 273,16 per il punto triplo comporta che la temperatura di fusione normale (PFN, dove con l'aggettivo "normale" si indica la pressione atmosferica) dell'acqua vale 273,15, cioè 0,01 K in meno della temperatura del punto triplo.

La scala di temperatura assoluta così definita ha la caratteristica di essere indipendente dalle proprietà di una sostanza ed è basata unicamente sul 2° principio della Termodinamica. Fu definita da Lord Kelvin (1824-1907) ed è nota come **scala termodinamica**.

Esiste perfetta congruenza tra i valori di temperatura misurati sulla scala termodinamica e quelli misurati con il termometro a gas ideale, che per chiarezza possono essere definiti **temperatura empirica**. Quindi tra la **temperatura termodinamica** e la temperatura misurata dal termometro di riferimento (e quindi, di conseguenza, da qualsiasi altro termometro tarato su di esso) non esiste alcuna differenza.

### 7.3.2

#### CICLO A PIÙ DI DUE SORGENTI

Si è dunque visto che il massimo rendimento di conversione è ottenibile da una macchina termica reversibile che operi tra due sorgenti (una che agisca come sorgente di calore e l'altra come pozzo di calore), cioè da un **ciclo bitermico**, per esempio il ciclo di Carnot.

In molte applicazioni reali, però il calore viene assorbito e ceduto a più di 2 sorgenti. In questi casi, anche se la macchina fosse reversibile il suo rendimento sarebbe sempre e comunque inferiore al rendimento della macchina reversibile bitermica. In altri termini:

$$0 < \eta_{rev, 2+sorg} < \eta_{rev, 2\ sorg} < 1 \quad (7.33)$$

In presenza di più di 2 SET, infatti, solo una parte del calore ricevuto dal sistema viene fornito alla ( $T_{A,max}$ ) e solo una parte viene caduto alla ( $T_{B,min}$ ), per cui:

$$\eta_{rev, 2+sorg} < 1 - \frac{T_{B,min}}{T_{A,max}} \quad (7.34)$$

Nei cicli utilizzati nelle applicazioni reali, che si studieranno al successivo Capitolo 9, il sistema scambia calore con i SET lungo trasformazioni in cui la temperatura del fluido di lavoro cambia in continuazione. Per considerare reversibili questi cicli i SET vanno assunti come costituiti da un numero infinito di sorgenti la cui temperatura differisce di quantità infinitesime. Anche se considerati come reversibili, questi cicli hanno però rendimento inferiore al ciclo bitermico (come il ciclo di Carnot) proprio perché non lo sono.