Diavoletto di Maxwell e cricchetto di Feynman).

dr.ing. Alberto Sacchi
Sviluppo Progetti Avanzati srl- R&D Dept.
ing.sacchi@alice.it

SINTESI (ABSTRACT)
Nuova spiegazione termodinamica classica dei paradossi di Maxwell e Feynman relativi al Secondo Principio della Termodinamica.
New classical intrpretation of Maxwell and Feynman thermodynamic paradoxes.

PAROLE CHIAVE (KEYWORD)
termodinamica, secondo principio, ricorrenza, sistemi isolati, cricchetto, distribuzione velocità molecolare, velocità media molecolare

INTRODUZIONE (INTRODCTION)

Il secondo Principio della Termodinamica è, notoriamente una legge di tipo statistico; ne è conferma il Teorema di Ricorrenza di Poincaré che asserisce che *" Sia S un sistema dinamico con volume finito e sia P un punto di tale spazio; per ogni intorno D di P esiste un punto P' appartenente a D che ritornerà in D in un tempo finito."*

Ne è ulteriore dimostrazione il famoso modello di Ehrenfest noto come Urne di Ehrenfest.

Siano A e B due urne in cui vengano posti casualmente N oggetti identificabili con i numeri da 1 ad N. Con cadenza prefissata venga estratto casualmente un numero da A o da B e venga spostato dall'urna da cui è stato estratto in quella opposta.

L'esperimento tende a determinare la probabilità che dopo un tempo prefissato il numero di oggetti in un'Urna sia una quantità finita K.

Eseguendo fisicamente (o meglio matematicamente mediante computer) l'esperimento si trova una evidente fluttuazione nella quantità di oggetti nell'Urna tale da farle assumere in alcuni istanti il valore k e solo dopo un tempo (funzione di N e della cadenza di estrazione) si stabilisce un equilibrio del tipo N/2 in A e N/2 in B.

DIAVOLETTO DI MAXWELL

Il diavoletto di Maxwell è un esperimento mentale volto a negare la validità (supposta deterministica) del Secondo Principio della Termodinamica che asserisce che in un sistema isolato è *impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo* (formulazione di Clausius).

Si supponga un contenitore di volume V diviso da una paratia mobile contenente gas a pressione e temperatura noti. Siano V_A e V_B i volumi delle due zone separate dalla parete mobile (FIG 1).

Il gas in V_A ed in V_B si trova nelle identiche condizioni termodinamiche.

Un "Diavoletto" è il grado di sollevare la parete mobile ogni qual volta una molecola con velocità superiore ad un prefissato valore ψ si presenta nella direzione $B \rightarrow A$.

Dopo un tempo t (relativamente elevato e funzione di V_B, ψ e della temperatura in V_B) la velocità media delle molecole in V_B risulterà > velocità in V_A e, conseguentemente:

$$T_A > T_B$$

generando un passaggio di calore da un corpo freddo B ad uno più caldo A.

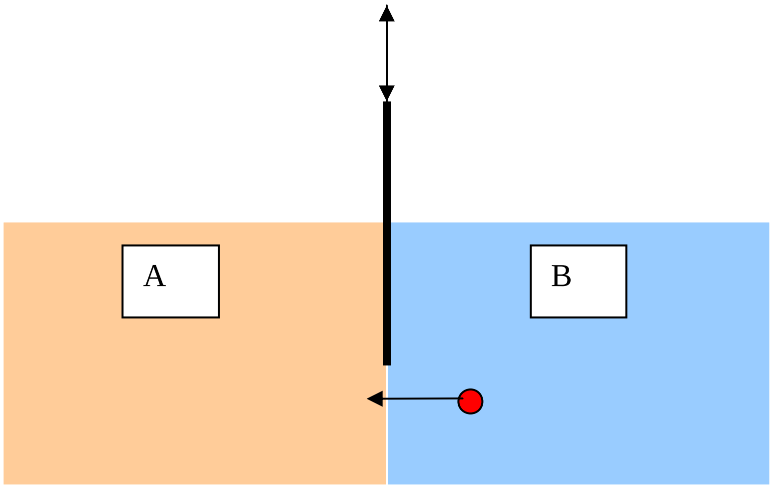

FIG. 1

Ora trattasi di dimostrare che ciò è avvenuto senza lavoro esterno. Il sistema, per assioma, è isolato e pertanto non vi può essere contributo energetico esterno; ne segue che il Diavoletto deve trovarsi all'interno del sistema.
Una delle più note spiegazioni del paradosso concerne il problema del riconoscimento (da parte del Diavoletto) della velocità e della direzione delle molecole, riconoscimento che richiede di "illuminare" la molecola con l'invio di un fotone che dovrebbe provenire dall'esterno del sistema contraddicendo l'ipotesi di sistema isolato.
Ancora si ricorre al teorema di Landauer che stabilisce l'energia minima trasformabile in calore necessaria all'eliminazione di un bit d'informazione.
Tale eliminazione si rende necessaria affinché il Diavoletto possa riconoscere le molecole successive a quella che ha generato l'informazione di velocità e direzione, informazione equivalente al bit da eliminare.

Una semplice spiegazione termodinamica concerne il calore trasferito per conduzione e convezione da A a B attraverso il setto separatore. Dopo un eventuale transitorio iniziale il passaggio controllato di molecole veloci da B ad A comporta che:

$$T_A > T_B$$

Dalla Teoria Cinetica dei gas si ricava la relazione:

$$V^2_A = \text{velocità quadratica media molecole in A} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \qquad (01)$$

con : R = costante gas
M = massa molare
T_A = temperatura assoluta gas in A
t = tempo

Sia N_A = numero molecole in A ante apertura diaframma
N_{VA} = numero molecole veloci presenti in A:

$$\frac{\partial V^2{}_A}{\partial t} = \frac{\partial N_{VA}}{\partial t} = \frac{\partial N_A}{\partial t} \qquad (0.2) \qquad \text{da cui:}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \eta \left(\frac{\partial V^2{}_A}{\partial t} \right)^2 = \left(\frac{\partial N_{VA}}{\partial t} \right)^2 \qquad (0.3)$$

La variazione di temperatura nel tempo per il settore A è funzione del quadrato del numero medio di molecole (veloci) transitante attraverso il diaframma nello stesso intervallo temporale.

Se c_V = calore specifico molare isocoro del gas, il calore trasferito da B ad A a volume costante è :

$$d\,Q = c_V \frac{\partial T}{\partial t} N_{VA} \qquad (0.4)$$

Parallelamente, per conduzione, attraverso la parete divisoria verrà trasferito calore dalla zona calda A a quella fredda B secondo la:

$$dQ' = \frac{\lambda S}{L} N_{VA} \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial t} \right) \qquad (0.5)$$

sino a che: $dQ = dQ'$

cioè sino al raggiungimento dell'equilibrio termico tra la zona A e la zona B.

Quindi, a parte un eventuale ed ipotetico transitorio iniziale, il Diavoletto di Maxwell non sarà in grado di trasferire stabilmente calore dalla zona fredda (B) alla zona calda (A).

IL CRICCHETTO DI FEYNMAN

Nel corso delle famosissime lezioni di fisica tenute presso il Caltech negli anni 1961-1963 Richard Feynman, affrontando il secondo Principio della Termodinamica, propose il seguente paradosso.
Si immagini una specie di mulinello immerso in un gas a temperatura T e pressione p collegato, mediante un albero rotante ad una ruota ad arpionismo in grado di ruotare liberamente in un solo verso.
L'agitazione termica molecolare porterà ad urti casuali sulle pale del mulinello che sarà in grado di portare in rotazione la ruota dentata in un solo verso a causa dell'arpionismo.(FIG.2). La ruota dentata potrà eventualmente essere rigidamente collegata ad un qualsiasi dispositivo atto a generare energia (ad esempio un alternatore, una dinamo o semplicemente un ventilatore).
Tale dispositivo pare fornire una evidente confutazione del Secondo Principio nella formulazione di Kelvin-Planck: *"È impossibile realizzare una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di tutto il calore assorbito da una sorgente omogenea.*

In realtà il dispositivo nella sua versione reale non può prescindere dagli attriti che, a regime, lo porterebbero ad assumere la medesima temperatura del gas .

Tenuta presente la dimensione del cricchetto che, per evidenti ragioni non può essere che molecolare, alla temperatura del gas esso cesserebbe di funzionare.

Le sue molecole subirebbero una agitazione termica tale da impedire l'ingranamento ruota -arpionismo

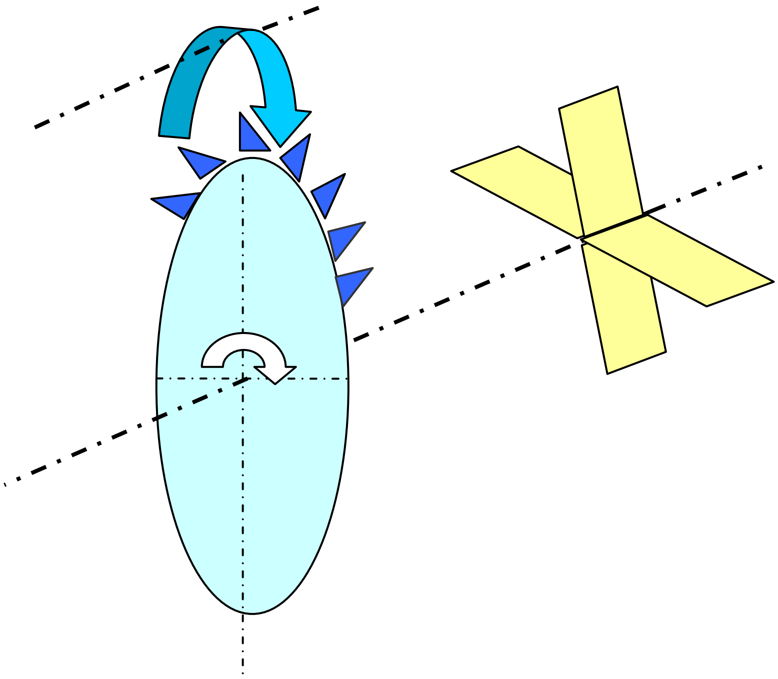

FIG.2

Una soluzione concettualmente analoga ma basata su nanotecnologie è stata proposta e sperimentata presso l'Università di Edimburgo da Thomas E. Mallouk e Ayusman Sen e riportata da Le Scienze (luglio 2009).