

# ENTROPIA E IRREVERSIBILITÀ

SI A UNA MACCHINA CHE LAVORA TRA LE TEMPERATURE DI  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  E RISPETTIVAMENTE DI  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_2' = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_2'' = 1000^\circ\text{C}$ . IL RENDIMENTO NEI TRE CASI VALE (NEL POTERSI DI MACCHINA DI CARNOT):

$$\eta_c = 1 - \frac{273}{283} = 3,5\% ; \quad \eta_c' = 1 - \frac{273}{373} = 26,8\% ; \quad \eta_c'' = 1 - \frac{273}{1273} = 78,5\%$$

QUINDI, DATA UNA QUANTITÀ DI CALORE  $Q_2 = 10000\text{ J}$ , NEI TRE CASI POSSO ESTRARRE UN LAVORO:

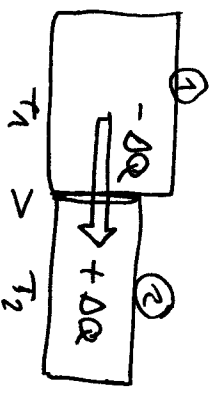
$$W = Q_2 \eta_c = 353\text{ J} ; \quad W' = Q_2 \eta_c' = 2681\text{ J} ; \quad \eta_c'' = 7855\text{ J}$$

COME SI VEDE, PIÙ LA TEMPERATURA È ALTA, PIÙ IL LAVORO ESTRAIBILE (TEORICAMENTE) È ALTO, MEGLIO È STATO UTILIZZATO IL CALORE  $Q_2$  ASSORBITO DALLA SORGENTE CALDA.

R. CLAUSIUS (1822-1888) EGGE ALCORA L'IDEA DI UTILIZZARE, COME MISURA DEL GRADO DI CONVERSIONE DEL CALORE IN LAVORO, IL RAPPORTO  $(Q/T)$ : PIÙ ESSO È ALTO, PIÙ  $T$  È BASSA, PIÙ  $Q$  È BASSO, PIÙ FACILE FACILIO A CONVERTIRE IN LAVORO IL CALORE. TALE RAPPORTO FU DA LUI CHIAMATO "VERWANDLUNG" (= TRASFORMAZIONE); POI, PER ORO = "ENERGIA" CON IL TERMINE "ENERGIA", CONIO' IL TERMINE GRECO  $\ll$  ENTROPIA  $\gg$  (= TRAFFOR = NAZIONE INTERNA), CHE SI MISURA IN JOULE/KELVIN.

SIANO I DUE CORPI ① E ② A CONTATTO TERMICO. PER IL 2° PRIN- CIPIO DELLA T.D. (ENUNCIATO DI CLAUSIUS), IL CALORE PUÒ PASSARE SOLO DAI CORPI PIÙ CALDI ① (CHE LO PERDE:  $-DQ$ ) A QUELLO PIÙ FREDDO ② (CHE LO ACQUISTA:  $+DQ$ ). HO COSÌ UNA VARIAZIONE DI EN- TROPIA:

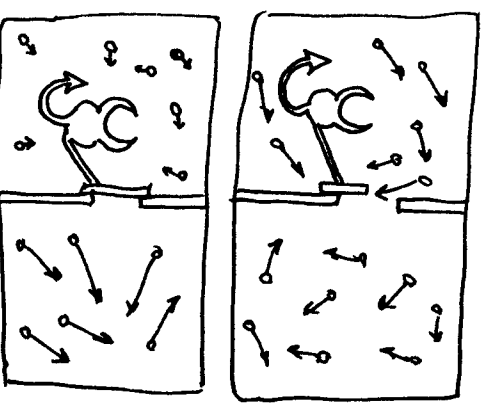
$$\Delta S = -\frac{DQ}{T_1} + \frac{DQ}{T_2} > 0 \quad \text{PERCHÉ } T_1 > T_2, \quad \frac{1}{T_2} > \frac{1}{T_1}$$



DUNQUE IL 2° PRINCIPIO SI PUÒ COSÌ ENUNCIARE: IN OGNI TRASFORMAZIONE SPONTANEA, L'EN- TROPIA NON PUÒ MAI AUMENTARE. L'ENTROPIA DELL'UNIVERSO È IN COSTANTE CRESCITA. MA QUALE È IL SIGNIFICATO FISICO DI TALE CRESCITA?

# IL DIAVOLETTO DI MAXWELL

ABBIAMO DETTO CHE L'ENTROPIA MISURA L'INCAPACITÀ DI UN SISTEMA A CONVERTIRE IL CALORE IN LAVORO MECCANICO. MA QUA È ESATTAMENTE IL SUO SIGNIFICATO?



J.C. MAXWELL (1831-1879) SVILUPPÒ L'IDEA DEL DIAVOLETTO DI MAXWELL. SI TRATTA DI UN ESSERE SOPRANNATURALE, CHE NON "CANSCIA" NE' "BENE" (NON CONSUMA ENERGIA), MA VEDE LE MOLECOLE E, QVANDO NE ARREVA UNA PIÙ VELOCE CONTRO LE PARETI DEL RECIPIENTE QVI A FIANCO, APRE UNA PORTICINA E LA LASCIA PASSARE DAT'ALTRA PARTE. COSÌ FACENDO, TUTTE LE MOLECOLE "CALDE" VANNO DA UNA PARTE, TUTTE QUELLE "FREDE" RESTANO DAT'ALTRA. CONCLUSIONE: ANCHE SE CI VUOLE UN TERZO MOLTO MOLTO LUNGO (QUI ESERI INFERMI HANNO MOLTA PAZIENZA!), IL DIAVOLETTO DI MAXWELL HA... SEPARATO IL CALDO DAL FREDDO, FAZENDO PASSARE IL CALORE DA UN CORPO PIÙ FREDDO A UNO PIÙ CALDO, E CONTRODICCENDO IL II° PRINCIPIO!

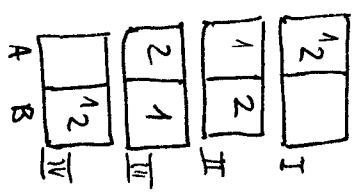
È OVVIDO CHE SI TRATTA DI UN PARADOSSO. MA COME AGIRARE? SGIURO È BILLOVIN NESU ANNI '30 TROMPARO IL BAZO. ANCHE SE IL DIAVOLETTO È INUTILE E NON NECESSITA DI CAD TUTTAVIA PER SEPARARE LE MOLECOLE PIÙ VELOCI DA QUELLE PIÙ LENTAMENTE. MA PER QUESTA LUTTA PER SEPARARE LE MOLECOLE AL SISTEMA BASSI IL DIAVOLETTO CON LA SUA OPERA, E IL II° PRINCIPIO È SALVO.

SÌ, MA... È POSSIBILE CHE LE MOLECOLE SI SEPARANO SPONTANEAMENTE, PER CASO? È COSÌ POSSIBILE CHE GU CRTI FACIANO RMAE SPONTANEAMENTE TUTTE LE MOLECOLE CALDE A DESTRA E TUTTE QUELLE FREDE A SINISTRA? A PAG. 3 SI DIMOSTRA CHE LA PROBABILITÀ CHE CIO' AVVENGA È UNA SU  $2^{10^{23}}$ , OVE' UN NUMERO COSÌ ASSURDAMENTE PICCOLO DA NON POTERSI NEPPURE QUANTIFICARE. È PIÙ PROBABILE UNTERE I PPTI NO PRMI DA UNA COSTELLA ITALUA ACQUANSTANDO SOLO 10 BIGLITI, CHE NON MORIRE SOFFOCATI PERCHÉ TIRA L'ARIA DELLA NOSTRA STANCA È USCITA SPONTANEAMENTE (PER CRTI) DAL BUCO DELLA SERRATURA. PERCHÉ, A DISCETO DI TUTTI I DIABOLI E DIAVOLETTI, KEVIN E CLAYVIS POTRANNO SODERSI IL NERITATO PAROSO ETERNO.

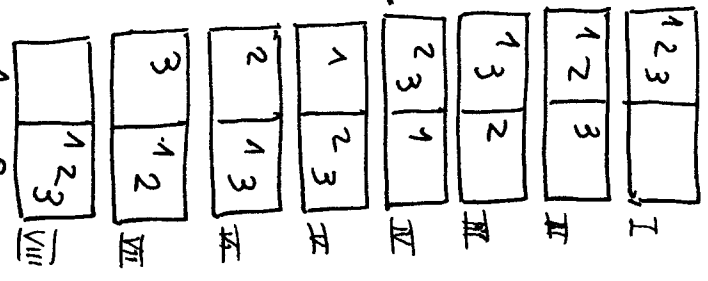
# ENTROPIA E CASO

Pag. 3 di 3

CONSIDERIAMO DUE MOLECOLE. IN QUANTI MODI POSSONO ESSERE DISPOSTE NEL CONTENITORE DI PAG. 2? IN QUANTO MODI, CONTE SI VEDE A SINISTRA. SE HO TRE MOLECOLE IN QUANTI MODI POSSIBILI SI POSSONO DISPORRE? IN OTTO MODI (2<sup>3</sup>), CONTE SI VEDE A DESTRA. PIU' IN GENERALE, N MOLECOLE SI POSSONO DISPORRE IN 2<sup>N</sup> MODI POSSIBILI.



CHE RARE: UNA COSA È LA POSSIBILITÀ, UNA LA PROBABILITÀ (= RENDIBILITÀ). SE HO UN N° DI ATOMI O MOLECOLE (N<sub>AV</sub> = 6 · 10<sup>23</sup> MOLECOLE/IND), ESSE SI POSSONO DISPORRE IN 2<sup>N<sub>AV</sub></sup> MODI POSSIBILI. MOLTISSIMI MICROSTATI (LA NAQSIO = PANNA / LA QUANTITÀ) CORRETE AUA SITUAZIONE IN CUI N<sub>AV</sub> MOLECOLE SONO IN A E ALTREMO IN B, MA UN SOLO MICROSTATO CORRISPONDE AUA SITUAZIONE IN CUI N<sub>AV</sub> MOLECOLE SONO IN A E ZERO IN B, CONE MOSTRANO SU ETENDI IN QUANTA PAGINA. TALE SITUAZIONE È DIVERSE CASI IMPROBABILI CHE NON LA OSSERVE =



PERO' LA (PROBABILITÀ) = 1/2<sup>N<sub>AV</sub></sup> = 1/2<sup>10<sup>23</sup></sup> BOLZMANN (1854-1906) TROVÒ CHE L'ENTROPIA S NON È ALTRO CHE UNA MISURA DEL N° DI MICROSTATI POSSIBILI ASSOCIATI AL MICROSTATO CONSIDERATO, SECONDO LA FORMULA:

$$S = k_B \ln \Omega$$

(k<sub>B</sub> = 1,38 · 10<sup>-23</sup> J/K) (COST. DI BOLZMANN)

MA ZERO ASSOLUTO LE MOLECOLE SONO FERME, C'È UN SOLO MICROSTATO POSSIBILE, S = 0. PIU' LE MOLECOLE SONO DISORDINATE, PIU' È ALTO P, PIU' È ALTA L'ENTROPIA. SECONDO BOLZMANN, DIVERSE, ESSA MISURA IL DISORDINE DI UN SISTEMA (NON A CASO, SGI SI PARLA ANCHE DI "ENTROPIA INFORMATIVAMENTE"), È QUINDI IL 2° PRINCIPIO DELLA T.D. SI PUÒ CASI INIZIARE: OGNI SISTEMA EVOLVE SPONTANEAMENTE VERSO LA SITUAZIONE PIU' DISORDINATA POSSIBILE. AL LIMITE L'UNIVERSO TENDE VERSO IL MASSIMO DISORDINE (TUTTE LE TEMPERATURE UNIFORMI, IMPROBABILITÀ DI GENERARE ALTRO): È LA COSIDDETTA TEORIA.