

MAURIZIO VIGNATI

***LIBRO INCOMPIUTO
SULL'ENERGIA
DELL'AMBIENTE***



MAURIZIO VIGNATI

**LIBRO INCOMPIUTO
SULL'ENERGIA DELL'AMBIENTE**

Copyright © 2019 Maurizio Vignati



Questo libro è stato ufficialmente registrato.
Nessuna parte di esso può essere riprodotta in qualsiasi forma o
con qualunque mezzo,
elettronico, meccanico, fotografico, filmato o altro, senza il
permesso scritto dell'autore.



Clifford Ambrose Truesdell III

Immeritadamente,
dedico questo lavoro alla memoria di Clifford Ambrose Truesdell III
(1919–2000),
accademico fisico-matematico di chiara fama.

MAURIZIO VIGNATI

PREFAZIONE

Leggere in luogo dei lavori originali dei filosofi ogni genere di esposizione delle loro dottrine, o in genere una storia della filosofia, è come farsi masticare da qualcun altro il proprio desinare... Si possono conoscerei filosofi solo attraverso le loro opere, e in nessun modo con esposizioni di seconda mano. (Arthur Schopenhauer - L'arte di insultare - Adelphi, Milano, p.130).

Cari lettori del futuro, vi apprestate ad esaminare l'introduzione di questo libro per capire se è di vostro interesse.

L'argomento qui trattato è di tipo scientifico, ma non credo di peccare di presunzione nel dire che anche persone con scarse conoscenze scientifiche siano in grado di leggerlo ed abbiano interesse a farlo.

Un interesse assai maggiore alla lettura dovrebbero averlo, invece, gli "addetti ai lavori": tutti i membri della Comunità Scientifica.

A mio avviso, tuttavia, sarebbero i rappresentanti del popolo (gli esponenti Politici), ad avere il massimo interesse alla lettura del presente libro, per le ragioni esposte nel seguito.

Avendo presente quest'ampia differenza nella preparazione tecnico-scientifica dei potenziali lettori del presente libro, ho cercato di scriverlo in modo che possa essere letto da chiunque.

In questo libro pongo in evidenza il fatto che nella formulazione di un importante Principio della fisica, sono stati introdotti fatali errori di Logica che ne alterano il vero significato.

Sfortunatamente, questo Principio fisico condiziona la vita di noi tutti, in quanto esso ha una enorme influenza sulle politiche governative riguardanti ricerche e studi per l'approvvigionamento di energia.

Il tema è il Secondo Principio della Termodinamica - argomento che fa parte dei programmi didattici di livello superiore.

Questo Principio fisico è una conoscenza scientifica che non viene messa in discussione.

Ma come già accennato, le conseguenze pratiche della versione condivisa del citato Principio non sono trascurabili, ed è questa considerazione che dovrebbe sollecitare i rappresentanti del Popolo a leggere il presente libro.

Ad esempio, è in conseguenza della attuale formulazione di tale Principio che dobbiamo estrarre dalle viscere del nostro pianeta petrolio, gas e carbone, per poi bruciarli nelle nostre macchine, con il conseguente inquinamento.

È ancora in conseguenza di tale Principio, che dal 50% al 70% del carburante che usiamo per far funzionare le nostre macchine termiche (autovetture, centrali elettriche, eccetera) viene convertito in energia termica e poi disperso inutilmente nell'ambiente, tramite un radiatore o dissipatore di calore.

In sostanza, una parte molto consistente di tutta l'attuale tecnologia connessa alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia, è condizionata dalla attuale interpretazione del Secondo Principio della Termodinamica.

Questo principio fisico coinvolge noi tutti, in ogni momento della nostra vita, senza che la maggioranza se ne renda conto.

In teoria, il Secondo Principio della Termodinamica dovrebbe essere soggetto a discussione al giusto livello: quello scientifico e accademico.

Ma da oltre 160 anni la discussione sul Secondo Principio della Termodinamica non è più collettiva; attualmente, la maggior parte degli studiosi non fanno altro che girare e rigirare su loro stessi senza fine, gli stessi concetti introdotti al riguardo dai Padri Fondatori della teoria termodinamica, senza mai riuscire a modificarla.

Solo una ristretta minoranza di studiosi sta cercando di impostare una teoria razionale del calore, nel quasi completo disinteresse della maggioranza dei fisici.

Giungiamo così allo scopo che mi sono posto nel progettare il presente libro.

A mio avviso, è necessario aprire di nuovo una discussione

scientifica sul Secondo Principio della Termodinamica, per tentare di correggere i citati errori di Logica che ne hanno profondamente alterato il vero significato.

È importante evidenziare subito il paradosso che scaturisce dalle seguenti considerazioni.

Il Secondo Principio della Termodinamica è basato su un concetto fondamentale, chiamato “assioma”, del quale sono note varie formulazioni. Ad esempio, l'assioma espresso nel 1903 dal grande scienziato Max Planck (1858-1947) è il seguente:

“È impossibile costruire una macchina tale che, funzionando in un ciclo, produca altro effetto che il sollevamento di un peso e il raffreddamento di una sorgente di calore.”

La seguente Figura 1 è un utile strumento per comprendere in che cosa consista questo limite tecnologico imposto all’Uomo dal citato assioma.

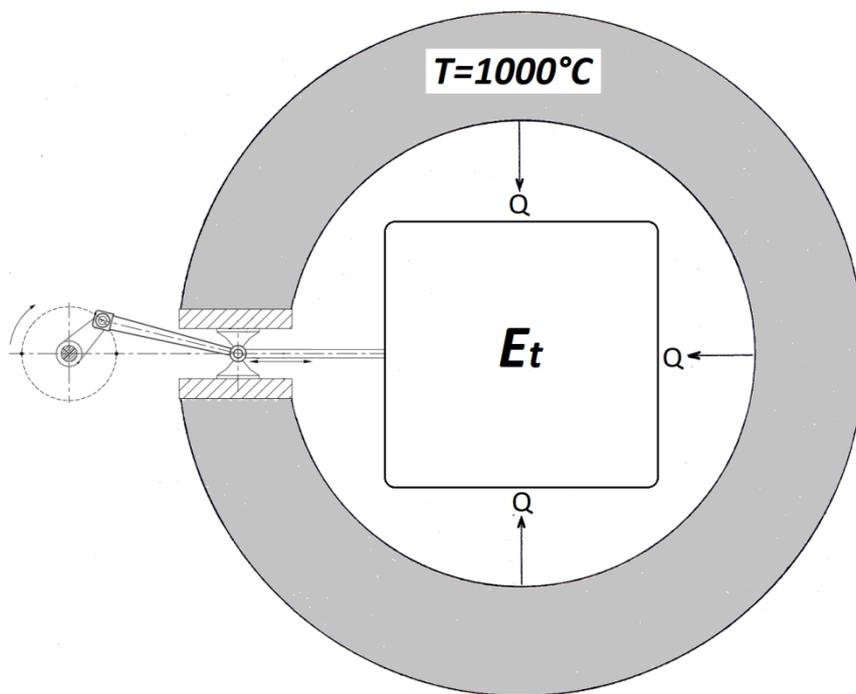


Fig.1

La Figura 1 rappresenta la sezione di un ipotetico motore termico E_t , il quale assorbe continuamente calore (Q) da un corpo sferico che lo circonda, generando costantemente un lavoro meccanico all’esterno

di tale corpo sferico. La temperatura del corpo sferico è supposta essere, a titolo di esempio, di $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ e costante nel tempo

L'assioma vieta la possibilità di costruire una macchina di questo genere. L'assioma sembra essere molto intuitivo: se la temperatura della macchina *Et* è uguale a quella dell'ambiente che la circonda, il calore Q non può fluire verso *Et*. **Attenzione, però, a volte l'intuizione inganna.**

Questa supposizione era sensata in quel tempo, poiché non si erano ancora comprese in pieno le implicazioni della proprietà dell'elettrone libero di essere espulso spontaneamente dai corpi a causa della loro temperatura.

Se i Padri Fondatori avessero avuto questa consapevolezza, molto probabilmente non avrebbero adottato l'assioma di cui sopra.

Dall'assioma di cui sopra, la teoria oggi in vigore ricava un principio relativo agli eventi naturali di natura termica: il noto Principio di Entropia.

A mio avviso, quindi, ogni Scienziato dovrebbe ritenere paradossale l'idea che un assioma che impone un limite tecnologico all'Uomo, abbia generato un Principio relativo agli eventi naturali, e pertanto egli dovrebbe sospettare che i ragionamenti che hanno determinato una tale assurda connessione debbano contenere errori.

Se confrontiamo, infatti, l'assioma del Secondo Principio della Termodinamica con altri assiomi della fisica, dovremmo subito notare che nessuno di essi esprime una proibizione tecnologica per l'Uomo.

Queste mie idee, tuttavia, sono in profondo contrasto con quelle della Comunità Scientifica, nella quale vi è la ferma convinzione che il Secondo Principio della Termodinamica sia uno dei più saldi, se non il più saldo, tra tutti i principi naturali.

Questa convinzione deriva proprio dalla proprietà, attribuita a questo principio, di razionalizzare, sebbene incompletamente, un comportamento della Natura conosciuto come “la feccia del tempo”, ovvero, il verso privilegiato, che non si inverte spontaneamente, in cui i fenomeni macroscopici si svolgono in Natura.

In altri termini: se un certo sistema macroscopico parte da una certa condizione iniziale A e termina ad una differente condizione B, non accade mai che il sistema stesso riparta da B e torni, spontaneamente, ad A.

Questo dato di fatto ha creato un grosso problema; infatti, i singoli fenomeni microscopici, che nel loro insieme formano quel determinato sistema macroscopico, erano ritenuti simmetrici rispetto alla variabile “tempo”.

Se idealmente si invertisse l'ordine temporale di un fenomeno termico macroscopico come la conduzione di calore, come sopra ipotizzato, la descrizione dei singoli fenomeni microscopici, che quindi avverrebbero a ritroso, non contrasterebbe con nessuna legge della fisica, per cui quel determinato sistema macroscopico avrebbe la possibilità di invertirsi da solo, a seguito della spontanea inversione dei singoli fenomeni microscopici che lo compongono.

Come già detto, tutto ciò non avviene in modo spontaneo e questo è stato il problema da risolvere.

Il semplice fatto che siano stati tentati approcci di fisica-matematica (termodinamica statistica, cinetica atomica e molecolare, ecc.) per risolvere questo problema connesso al Secondo Principio della Termodinamica, sta a significare, a mio modo di vedere, che la Comunità Scientifica implicitamente ritiene che l'assioma (la macchina vietata dall'assioma di Max Planck) sia spiegabile, mentre è noto che gli assiomi sono proposizioni non-spiegabili.

A mio avviso, questo paradosso è una chiara indicazione che non si

è compreso il vero significato del Secondo Principio della Termodinamica o, in altri termini, non si è compreso in che cosa consista il “vero” Secondo Principio della Termodinamica.

Nel momento in cui la Comunità Scientifica condividerà il motivo per cui i fenomeni Naturali macroscopici devono essere conformi al vero Secondo Principio della Termodinamica, diventeremo tutti consapevoli che il genere umano non è tenuto a rispettare questo Principio nelle fasi di concepimento, progettazione e realizzazione di macchine termiche.

Per questi motivi ritengo, come vedremo nel seguito, che i problemi di cui sopra non potranno essere risolti se non dopo aver bandito dalla fisica l'assioma di Planck, o comunque quelli ritenuti ad esso equivalenti.

Lo studio storico che ho condotto sull'origine di questo Principio, mi ha fatto individuare gli errori di Logica involontariamente compiuti dai Padri Fondatori della teoria termodinamica.

Questa è una vera fortuna, perché la conoscenza di tali errori rende possibile la formulazione di una nuova interpretazione di questo importantissimo Principio: una nuova interpretazione potenzialmente esente da tutti gli aspetti negativi di cui sopra.

A questo punto, se Voi, lettori del futuro, avete poche conoscenze di fisica, potreste pensare che questo libro sia troppo difficile per voi e che non valga la pena di tentare di leggerlo.

Però così non è, e continuando a leggere queste poche pagine introduttive capirete perché.

Se invece voi siete membri della Comunità Scientifica, sarete addirittura tentati di smettere di leggere perfino questa introduzione. È infatti molto probabile che Voi riteniate inattaccabile il Secondo Principio della Termodinamica, perché è il frutto di quella teoria termodinamica che funziona egregiamente nella pratica.

Tutta la chimica si basa sulla termodinamica. L'elettrochimica è termodinamica. La scienza dei metalli è termodinamica. La biologia si basa sulla termodinamica, e così via.

Resistete anche Voi a questo impulso, e continuate a leggere questa introduzione fino in fondo, perché sono sicuro che ne resterete molto sorpresi.

Se siete un membro della Comunità Scientifica, sicuramente osserverete anche che l'auto-pubblicazione di questo libro contraddice la mia pretesa di ottenere la vostra attenzione.

Lo stesso dicasi per quanto riguarda la mia pretesa che il presente libro sia rivolto ad un pubblico generico e contemporaneamente agli scienziati.

Al giorno d'oggi, infatti, per mettere in discussione un principio fisico bisogna formulare una apposita memoria e sottoporla al cosiddetto Processo di “Revisione Paritaria”.

Questo è il metodo che viene utilizzato dalla Comunità Scientifica per individuare i lavori degni di essere letti.

In genere, la fase di avvio di una discussione all'interno della Comunità Scientifica, finalizzata a modificare conoscenze scientifiche consolidate, viene intrapresa da specialisti di quel settore.

Logicamente, ciò implica che tali individui abbiano un curriculum scientifico di tutto rispetto in quel settore, testimoniato da pubblicazioni a elevato “impact factor” e “H-index”, su riviste specializzate riconosciute a livello internazionale.

Questo, però, è il minimo necessario per tentare una impresa di tale portata, ma non è ancora sufficiente. Secondo una consolidata mentalità, gli specialisti che hanno individuato gli elementi per apportare nuove conoscenze scientifiche, non dovrebbero avere fretta di pubblicare subito un articolo scientifico al riguardo,

dovrebbero, piuttosto, metterlo in un cassetto e lasciarvelo per qualche anno.

Nel frattempo, essi dovrebbero meditare e studiare ancora, per scoprire l'esistenza di qualche errore.

Se dopo tale riflessione nessun errore venisse rilevato, allora gli autori potrebbero inoltrare richiesta di pubblicazione a qualche rivista scientifica qualificata.

La Commissione Editoriale dell'Editore sottoporrebbe questo lavoro al vaglio di uno o più "Revisori", a loro volta specialisti in quello specifico settore, ritenuti "pari", da punto di vista scientifico, agli autori dell'articolo ricevuto.

Se i pareri di questi revisori fossero favorevoli e concordi, allora l'articolo potrebbe essere pubblicato e sottoposto al giudizio della Comunità Scientifica.

Qualora, invece, i pareri dei Revisori fossero discordi o negativi, vi sarebbe con grande probabilità la decisione di rifiutare la pubblicazione.

Pur essendo a conoscenza dell'esistenza di questa "via maestra" della Revisione Paritaria, non ho ritenuto di poterla seguire per l'insieme dei seguenti motivi.

1° motivo: Il mio curriculum scientifico non corrisponde affatto al modello preso in esame nel processo di Revisione Paritaria. Le occorrenze della vita non mi hanno consentito di diventare titolare di memorie scientifiche pubblicate su riviste referenziate e non posso sperare di essere nemmeno preso in considerazione, qualora provassi a chiedere ad una rivista qualificata di pubblicare il presente lavoro.

La spiegazione è molto semplice: io non solo non sono "pari" ai Revisori; sono invece (secondo il suddetto criterio) incommensurabilmente "inferiore".

2° motivo: Mi sono anche reso conto che questo mio lavoro è troppo sconvolgente per poter essere condiviso e approvato da uno specialista del settore in veste di Revisore. Se avessi seguito la “via maestra”, avrei rischiato di farmi bocciare il lavoro e, al contempo, avrei consegnato in mani ignote i risultati del mio studio pluri-decennale.

Le “mani ignote” sono quelle dei Revisori; esse sono ignote perché gli Editori non rendono noti i nominativi di questi esperti.

Questi Revisori possono dunque esprimere anonimi giudizi negativi circa i lavori scientifici che ricevono, senza assumersene la responsabilità e senza compromettere la loro reputazione.

3° motivo: Il presente lavoro, essendo indirizzato anche ad un pubblico generico, non è redatto secondo i criteri usualmente accettati dagli editori scientifici qualificati.

Nel presente lavoro, tuttavia, vado ad evidenziare gli errori di Logica che ho individuato nei ragionamenti dei Padri Fondatori della teoria del calore.

Non avendo denunciato nessun errore nei relativi sviluppi matematici, per valutare i quali ci sarebbe stato bisogno di un controllo da parte di Revisori fisici o matematici, non ritengo sia necessario il vaglio di tali Revisori per il presente lavoro, dal momento che gli errori di Logica possono essere rilevati da chiunque.

4° motivo: Il contenuto del presente libro non può essere sottoposto ad alcun tipo di Revisione di tipo scientifico. È vero, infatti, che qui si discute di un argomento di fisica, per cui ci sarebbe bisogno di un controllo da parte di Revisori, ma la critica che qui viene mossa alla teoria derivante dal Secondo Principio non è di natura fisica, bensì di pura Logica.

Dato che la citata teoria è sbagliata solo per motivi di Logica, e non

per motivi di fisica, allora non è “Logico” sottoporre il presente lavoro alla procedura di revisione normalmente richiesta per il lavori scientifici.

5° ultimo ma non meno importante motivo: l'argomento trattato nel presente libro è stato messo all'”Indice degli Argomenti Proibiti” (che ci crediate oppure no) da parte di alcuni editori qualificati, e nel seguito ne vedremo un esempio.

Essendo a conoscenza di tutto ciò, ho sentito il “dovere” di pubblicare questo lavoro ad ogni costo, perché ho trascorso troppi anni a studiare questo argomento, per poter permettere a qualcuno di sottrarre alla comune conoscenza ciò che ritengo di aver compreso.

Se la consapevolezza delle inutili limitazioni insite nella versione attualmente condivisa di questo principio divenissero di comune conoscenza, non solo nell'ambito della Comunità Scientifica, ma anche nel resto della Società, molte cose potrebbero cambiare in senso positivo.

La nuova interpretazione del Secondo Principio della Termodinamica che dovrà scaturire dalla eliminazione degli errori introdotti dai Padri Fondatori, non avrà bisogno dell'assioma che dichiara impossibile una macchina capace di sfruttare completamente il calore.

Se la macchina vietata dall'assioma di Planck, quella schematicamente raffigurata nella Figura 1 di cui sopra, fosse realizzabile, avrebbe un rendimento del 100%.

A tale riguardo, ricordo la nozione comune che atomi e molecole appartenenti ad un corpo materiale vibrano costantemente attorno alla loro posizione media di equilibrio. Si tratta di vibrazioni incoerenti, originate dalla temperatura media dell'intorno del punto in cui le molecole si trovano.

Più la temperatura di quell'intorno è alta, più vigorosa è la

vibrazione incoerente che scuote le molecole. Se fosse possibile creare un meccanismo in grado di assorbire queste vibrazioni molecolari incoerenti e di trasformare la somma in energia meccanica coerente, esso diventerebbe il motore termodinamico perfetto vietato dall'assioma di Planck.

Questa macchina non avrebbe bisogno di essere alimentata dal calore generato dalla combustione di carburanti, come benzina o gasolio.

Essa funzionerebbe, infatti, a spese dell'energia cinetica posseduta dalle molecole che compongono l'ambiente circostante.

La parte della macchina che operasse questa sottrazione di energia cinetica si raffredderebbe rispetto all'ambiente circostante. Però, grazie alla naturale tendenza del calore di fluire, spontaneamente, da corpi caldi verso corpi freddi, dall'ambiente circostante fluirebbe del calore verso questa zona della macchina divenuta più fredda.

In una prima fase, questa parte della macchina comincerebbe a raffreddarsi sempre più. L'Aumento nel tempo di questa differenza di temperatura farebbe aumentare anche il suddetto flusso di calore proveniente dall'ambiente.

Ad un certo punto, il flusso di calore proveniente dall'ambiente uguaglierebbe quello costantemente sottratto dall'interno.

Si creerebbe allora un equilibrio dinamico in cui, in una certa unità di tempo, tanta energia termica verrebbe sottratta alla macchina mentre produce lavoro meccanico, quanta energia termica verrebbe ceduta dall'ambiente alla medesima macchina.

Di conseguenza, la temperatura della suddetta parte della macchina si stabilizzerebbe ad un valore costante, sebbene minore rispetto alla temperatura ambiente.

In tali condizioni di temperatura stazionaria di quella parte della macchina, l'energia meccanica prodotta sarebbe fornita, in ultima

analisi, soltanto dall'energia termica sottratta all'ambiente circostante.

Non ci sarebbe creazione di energia dal nulla, perché tanta energia meccanica verrebbe prodotta, quanta ne verrebbe sottratta all'ambiente circostante sotto forma di calore.

Ne consegue che il fondamentale principio di conservazione dell'energia sarebbe rispettato.

Se quindi una tale macchina fosse realizzabile ed utilizzata in sostituzione dei normali motori a combustione interna, essa potrebbe contribuire in misura sostanziale a ridurre la densità nell'atmosfera di anidride carbonica: il gas sospettato di essere un “gas-serra”, ovvero uno di quei gas che causerebbero il riscaldamento dell'atmosfera (il c.d. “riscaldamento globale”).

Mi rendo conto che tutti i concetti di cui sopra debbano sembrare assurdi e di fantascienza per qualunque Scienziato.

Tuttavia, le ultime notizie provenienti non da sprovveduti inventori, ma da qualificati scienziati, devono indurci a considerare che è giunto il momento di prendere atto che ci sono tutti gli elementi razionali e scientifici per smentire la comune credenza che una macchina termodinamica come sopra delineata non sia “concepibile”.

La dimostrazione della fallacia dell'impostazione attualmente condivisa del teorema di CARNOT, causata dalle incomplete, ed anzi sbagliate dimostrazioni dei Padri Fondatori della teoria dinamica del calore, nonché le ultime ricerche scientifiche, rendono necessaria una profonda modificazione della formulazione attualmente condivisa del Secondo Principio della Termodinamica.

Per anticipare un poco le conclusioni, possiamo qui affermare che l'assioma posto a fondamento del Secondo Principio della Termodinamica, contrariamente a ciò che si ritiene, non è

utilizzabile in nessuna dimostrazione oggi conosciuta del fondamentale teorema di CARNOT.

Questo accade perché i Padri Fondatori della teoria dinamica del calore hanno introdotto, nelle loro dimostrazioni di questo teorema, due gravi errori di Logica tra loro indipendenti, ed hanno inoltre considerato una tesi eccessivamente riduttiva per questo teorema.

Per i motivi sopra riportati, come già detto, questo libro è rivolto in primo luogo ai membri della Comunità Scientifica, nonostante il mio intento di scriverlo per renderlo comprensibile a tutti.

Al fine di ampliare al massimo la platea dei lettori, ho scritto questo libro con tre livelli di approfondimento, anche se essi sono mescolati tra loro.

Il primo livello è descrittivo e non richiede particolari conoscenze di matematica, per quanto riguarda alcune (poche) equazioni matematiche riportate, poiché esse sono mostrate con il solo scopo di evidenziare i suddetti errori di Logica.

Inoltre, non ho seguito lo schema tradizionale di progettare il libro secondo un criterio pedagogico, ma ho preferito strutturarne come una sorta di racconto che segue, più o meno, l'ordine temporale degli eventi.

Se qualche concetto scientifico diventa necessario per proseguire il racconto, viene preventivamente spiegato nel modo più semplice possibile.

Il secondo livello di lettura, più approfondito, è rivolto essenzialmente ai Professionisti.

Il terzo livello di lettura è costituito dal rimando ai documenti originali scritti verso la seconda metà del diciannovesimo secolo dai pionieri della teoria termodinamica, quali ad esempio Léonard Sadi Carnot, William Thomson (in seguito Lord Kelvin), Rudolf Clausius, eccetera.

Sono commentati anche i contenuti di moderni libri di testo di termodinamica, al fine di dimostrare come lo stato di incompletezza e di errore della teoria perduri anche ai nostri giorni.

Tutti questi lavori si trovano ormai in rete, per cui il terzo livello di approfondimento è costituito dai link per rintracciarli.

In questo libro non viene presentata nessuna scoperta, o invenzione, capace di condurre alla nuova interpretazione del Secondo Principio della Termodinamica.

Molto più semplicemente, giungo ad una diversa interpretazione del Principio a seguito di un esame critico di tutto l'insieme di concetti attualmente condivisi relativamente al Principio stesso, ed anche con il perfezionamento di un fondamentale concetto introdotto dal noto biofisico Italiano Mario Ageno nel suo libro: *“Le Origini della Irreversibilità”*, Bollati Boringhieri, 1992.

Pertanto, il presente libro riporta ampi stralci delle pubblicazioni originali dei Padri Fondatori della teoria termodinamica, seguite da mie osservazioni e critiche.

La rilettura critica dei lavori dei Padri Fondatori della teoria del calore, permette di capire che il modo tortuoso con cui tale teoria è stata sviluppata, ha avuto la conseguenza di convincere la Comunità Scientifica della necessità di seguire sempre i medesimi percorsi per spiegare la Seconda Legge della Termodinamica, nonché per sostenere tutta una serie di concetti ad essa collegati, come la definizione di temperatura assoluta, di Entropia etc..

Nel presente lavoro viene suggerito un metodo più aderente al Metodo Scientifico di introdurre il Secondo Principio della Termodinamica.

Questo metodo può salvare le utilizzazioni pratiche di questo principio.

Questo nuovo metodo non ha bisogno di inoltrarsi in quel vero e

proprio labirinto mentale costituito dai discorsi sulle macchine termiche contrapposte che è stato introdotto da Carnot.

Attraversare quel labirinto, significa imboccare un percorso che conduce all'uscita sbagliata. Si può saltare d'un colpo tutte quelle difficoltà, e giungere a ciò che può essere definito il Principio Naturale di Entropia.

Per quanto riguarda tutti gli altri modi di introdurre il Secondo Principio della Termodinamica, compresa la versione assiomatica di Carathéodory, dalla lettura del presente libro emergerà la loro inconsistenza.

Questo è però un libro “incompleto”, perché, pur sollevando questioni inedite, lascia ad altri l'onere di completare l'opera di ricostruzione della pertinente teoria, in quanto l'autore non è in grado di farlo.

Spero che sarà qualcuno di Voi, lettori del futuro, a scrivere la versione definitiva di questa nuova interpretazione di questo Principio e di tutto quello che ne consegue.

La necessità di una nuova impostazione di tutta la termodinamica, e non solo del Secondo Principio della Termodinamica, non è una mia idea bizzarra, ma è stata propugnata, ed in parte realizzata, da accademici di indiscussa levatura, come ad esempio Truesdell Clifford Ambrose III (1919 - 2000).

Truesdell è autore, tra l'altro, di libri quali “*Concept and Logic of Classical Thermodynamics – Rigorously Constructed upon the Foundation Laid by S. Carnot and F. Reech*” – Coautore: S. Bharatha (Springer-Verlag 1977); “*Rational Thermodynamics*” (McGraw-Hill, 1969) ; *The Tragicomical History of Thermodynamics 1822 – 1854* (Springer-Verlag 1980).

Questi libri rappresentano il tentativo di Truesdell di costruire una teoria termodinamica avente la stessa dignità di altre discipline

scientifiche, come ad esempio la Meccanica Razionale.

Il giudizio di Truesdell sullo stato della teoria termodinamica corrente è impietoso:

“L’esuberanza di oscuri, involuti, e indisciplinati saggi storici sulla termodinamica classica riflette la confusione della teoria stessa. La termodinamica, nonostante la sua lunga storia, non ha mai avuto i benefici di una sintesi magistrale come quella che Eulero diede dell’idrodinamica nel 1757 o quella che Maxwell diede all’elettromagnetismo nel 1873..... La termodinamica è nata nell’oscurità e nel disordine, per non dire confusione, e le usuali rappresentazioni tali sono rimaste.” - Prefazione di *“Concept and Logic of Classical Thermodynamics as a Theory of Heat Engines”*, p. vii.

Nel libro dal titolo significativo: *“The Tragicomical History of Thermodynamics: 1822–1854”*, Truesdell esamina in grande dettaglio i lavori scientifici più rilevanti nel periodo di tempo tra 1822 e 1854, che hanno determinato lo stato attuale della termodinamica.

La sua descrizione analitica dei lavori di quel tempo si alterna con i suoi incisi critici, nei quali egli evidenzia irrazionalità o errori compiuti dai Padri Fondatori - errori che ironicamente Truesdell attribuisce ad una sardonica “Musa della Termodinamica”, la quale si sarebbe accanita nel confondere le loro idee.

Dovendo nel seguito fare riferimento a questo lavoro, lo citeremo abbreviato: *The Tragicomical History*.

Noi trarremo, pertanto, da questo lavoro conforto e spunti per i nostri scopi.

Le citazioni di Truesdell, infatti, sono coerenti con lo scopo che mi sono posto scrivendo il presente libro: stimolare la discussione sullo stato della teoria dinamica del calore.

Truesdell ha definito *The Tragicomical History* come una “analisi concettuale”. Nell'Apologia (p. 5) egli scrive:

“Questo saggio è stato scritto per studenti di scienza e per i creativi e critici giovani termodinamici dei nostri giorni.”

Tuttavia, il mio scopo è infinitamente più modesto di quello di Truesdell, dato che egli ha tentato la ridefinizione della intera teoria termodinamica in termini razionali.

Io invece mi limito a segnalare gli errori contenuti nella versione condivisa del Secondo Principio della Termodinamica, e conseguentemente proporre una nuova interpretazione di questo principio che è tutta da sviluppare.

I ragionamenti presentati in questo libro, portano a comprendere un aspetto essenziale della questione: la ragione fisica per cui nei sistemi Naturali isolati si manifesta la realtà della “freccia del tempo”. Questo aspetto è stato trattato per la prima volta dal già citato biofisico Mario Ageno.

La generalizzazione del concetto di Ageno, consente di riformulare il Secondo Principio della Termodinamica prescindendo da qualsiasi divieto di concepire la “Macchina Termodinamica Perfetta” vietata dall'assioma di Planck.

Il principio di Entropia, opportunamente riformulato, può restare valido per la Natura quasi negli stessi termini oggi noti, ma viene a cadere il divieto di concepire la macchina che sfrutta completamente il calore.

Contro questa idea viene sempre sollevata l'obiezione che una macchina di questo genere è impossibile da realizzare, perché attriti e perdite di energia di ogni genere la fermerebbero, qualora inizialmente fosse fatta partire.

In primo luogo, questa obiezione è applicabile soltanto a ipotetiche macchine a “moto perpetuo di prima specie”. Vedremo, inoltre, che

attriti e perdite di calore non impediscono di concepire una macchina capace di sfruttare “completamente” una sola sorgente di calore; una macchina, quindi, con dissipazione nulla di calore dal radiatore, ovvero, priva di radiatore.

Il fatto che una macchina del genere sia “concepibile” non implica che essa sia effettivamente realizzabile. Diventa solo indifferente, per la validità del nuovo principio entropico, il fatto che si riesca, o meno, a realizzarla.

La nuova interpretazione del Secondo Principio della Termodinamica che qui si propone, può determinare, è vero, un radicale cambiamento di idee della Comunità Scientifica per quanto riguarda gli aspetti teorici della teoria del calore, sebbene (come vedremo) senza determinare quasi nessun inconveniente per quanto riguarda il suo uso pratico.

Per quanto riguarda il resto della società, la nuova interpretazione del Principio potrebbe avere conseguenze molto positive: cadrebbero tutti quei pregiudizi di natura teorica che hanno finora impedito alla Politica di prendere in considerazione numerose idee per realizzare la macchina termica con rendimento del 100%, e il nostro mondo potrebbe diventare completamente diverso: migliore sotto quasi ogni punto di vista.

Inoltre, con la pubblicazione del presente libro intendo lanciare la seguente sfida **ai più preparati di Voi**, lettori del futuro: dimostrate che le mie considerazioni sul Secondo Principio della Termodinamica sono errate.

Voi siete invitati a dimostrare tutto ciò pubblicando le vostre contestazioni.

Nei vostri lavori dovrete specificare dove, come e perché le affermazioni contenute in questo libro sono errate.

Siete invitati, in altre parole, a diventare autori di altri libri (eBooks

o cartacei tradizionali) per dimostrare che questo libro contiene concetti errati di termodinamica.

Il vostro intervento non dovrà essere limitato ad individuare eventuali miei errori, ma mi auguro che sia anche costruttivo.

In questo mio lavoro non ho avuto la pretesa di esaurire gli argomenti connessi al Secondo Principio della Termodinamica, ma mi sono limitato a indicare un nuovo percorso da esplorare.

C'è bisogno di nuove e più audaci intelligenze per ricostruire, si spera completamente e organicamente, tutto ciò che consegue dal “Principio Naturale di Entropia” che propongo.

Se volete, voi sarete gli autori di libri su questo tema, che altri leggeranno e poi a loro volta scriveranno altri libri su ciò che voi avete osservato sul mio lavoro. L'insieme di tutte le pubblicazioni diventerà una sorta di inedita “collana editoriale” in cui ognuno di voi può diventare protagonista.

Ho solo alcune raccomandazioni da dare a coloro che intendono partecipare a questa avventura.

Per prima cosa, stabilire un prezzo basso per il vostro eBook. È giusto che l'impegno sia retribuito, ma la discussione scientifica non deve tramutarsi in una speculazione economica. Inoltre, prezzi alti non favorirebbero la moltiplicazione degli interventi.

In secondo luogo, dovrete favorire il rintracciamento sul web della vostra pubblicazione usando la lingua Inglese e sostanzialmente lo stesso titolo di questo libro,aggiungendo però una data.

Ad esempio, se il Signor Rossi Mario pubblicherà il suo eBook il 23 Giugno 2020, il suo titolo dovrebbe essere simile al seguente:

“Libro Incompiuto sull'Energia dell'Ambiente – contributo 23 Giugno 2020” di Mario Rossi, o qualcosa di simile, a patto che quel titolo sia in grado di sfruttare l'indicizzazione della rete per

ricollegare il nuovo volume agli altri libri della speciale “collana editoriale”.

Sarà una discussione aperta e libera, che potrà anche fare a meno di qualunque formalismo.

Per essere convincenti, dovrete usare la costruttività; nessuna argomentazione fumosa, preconcetti o accettazione acritica di “Testi Sacri”.

Se pensate che un certo mio argomento sia sbagliato, lo dovrete smontare e ricostruire con costruttività nel modo che riterrete corretto. Lo stesso sistema dovrete usare per introdurre eventuali nuovi argomenti.

Chiudo questa introduzione facendo presente che il presente libro è indirizzato anche agli scienziati del futuro: studenti di fisica, chimica, ingegneria e qualunque altra materia tecnico-scientifica in cui il Secondo Principio della Termodinamica sia di fondamentale importanza.

Vorrei che questi lettori-studenti andassero a confrontarsi con i loro docenti di fisica, di termodinamica ma soprattutto di logica-matematica, per farsi spiegare dove e come i miei ragionamenti sarebbero sbagliati.

Qualche raccomandazione per lettori con scarse conoscenze dell’argomento:

Non spaventarsi leggendo l’Indice di questo libro. I termini usati sono quelli originali adottati dai Padri Fondatori della teoria termodinamica e ripresi dai moderni scienziati. Le parti importanti da comprendere sono quelle dei Paragrafi di CRITICA, nei quali sono spiegati gli errori (quasi tutti di Logica) commessi dai Padri Fondatori. Tutto il resto è propedeutico a questo fine.

Pertanto, ognuna di queste parti propedeutiche deve essere letta senza ritenere di non essere in grado di comprenderla, in vista di

leggere i successivi paragrafi di Critica.

Per gli esponenti Politici:

- 1) Raccomando la lettura del [Paragrafo 8.18](#);
- 2) Chiedo che non si dia l'incarico a qualche importante Scienziato di rilasciare un parere **anonimo** sul presente libro;
- 3) Bensì spero che verrà richiesto un parere scritto e **giurato**, che gli autori dovrebbero firmare dinanzi a qualche autorità dello Stato, in modo che sia reso di pubblica conoscenza.

Grazie a tutti e buona lettura.

Roma, 19 Marzo 2019

MAURIZIO VIGNATI

AVVISO:

Questo è un eBook interattivo che consente di accedere ai link evidenziati.

Vi sono tuttavia dei casi in cui qualche collegamento non riesce o si verifica un errore.

E' questo il motivo per cui è preferibile leggere il libro con un computer piuttosto che un tablet o un lettore di e-book.

Il fatto che una connessione fallisca non implica che il relativo link sia errato, in quanto tutti i link sono stati verificati.

Se il collegamento non riesce, copiare il link e incollarlo nella casella degli indirizzi di un motore di ricerca.

Se in questo modo non si ottiene il collegamento, provare a digitare il nome dell'autore e il titolo dell'opera da rintracciare

nel motore di ricerca.

Se anche questo tentativo non riesce, allora probabilmente l'opera è stata ritirata dal web.

INDICE

PREFAZIONE

CAPITOLO 1

CRONISTORIA PERSONALE

CAPITOLO 2

CONCETTI PROPEDEUTICI

2.1 PREMESSA

2.2 SINTESI DEGLI OBIETTIVI DEI PADRI FONDATORI DELLA TEORIA TERMODINAMICA CLASSICA

2.3 LA TEORIA DEL CALORICO

2.4 CONCETTI GALILEIANI A FONDAMENTO DELLA SCIENZA MODERNA

2.5 FISICA ARISTOTELICA, GEOCENTRISMO CATTOLICO E GALILEO GALILEI

2.6 ASSIOMI E POSTULATI

2.7 MODALITÀ DI ESPRESSIONE DEI PRINCIPI DELLA FISICA

2.8 ESERCIZIO PER I LETTORI

2.9 I PRESUPPOSTI DEL METODO SCIENTIFICO PER LA FISICA CLASSICA

2.10 METODO INDUTTIVO

2.11 METODO DEDUTTIVO

2.12 METODO SCIENTIFICO O METODO SPERIMENTALE

2.13 EXPERIMENTUM CRUCIS

2.14 IL PRINCIPIO LOGICO DEL TERZO ESCLUSO E LA DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO

CAPITOLO 3

NICOLAS LÉONARD SADI CARNOT: IL PRIMO RAZIONALIZZATORE

3.1 IL FAMOSO RAGIONAMENTO PER ASSURDO DI CARNOT

3.2 IL CICLO DI CARNOT

3.3 CONDIZIONI RITENUTE NECESSARIE DA CARNOT PER IL MASSIMO RENDIMENTO

3.4 RIASSUNTO DEI CONCETTI ESPRESSI DA CARNOT

3.5 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DEL RAGIONAMENTO DI CARNOT

3.6 CLAPEYRON PAUL-ÉMILE

CAPITOLO 4

LA CRISI DELLA TEORIA DEL CALORICO E IL CONSEGUENTE SVILUPPO DELLA TEORIA DINAMICA DEL CALORE

4.1 PREMESSA

4.2 IL CONCETTO DI “CALORE” SECONDO LA TEORIA DINAMICA DEL CALORE ATTUALMENTE CONDIVISA

4.3 L'EXPERIMENTUM CRUCIS DI JOULE E LE BASI SPERIMENTALI DEL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

4.4 LA MEMORIA DEL 1849 DI WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN)

4.5 ULTERIORI PRECISAZIONI SU CALORE, TEMPERATURA, PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA E ENERGIA INTERNA

4.6 INTRODUZIONE ALL'ASSIOMA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

4.7 LA MEMORIA DEL 1850 DI RUDOLF CLAUSIUS

4.8 RUDOLF CLAUSIUS – MEMORIA DEL 1850 – SEZIONE PRIMA

4.9 RUDOLF CLAUSIUS - MEMORIA DEL 1850 – SEZIONE SECONDA: PRIMO TENTATIVO DI SALVARE IL TEOREMA DI CARNOT – PRIMA LIMITAZIONE IMPOSTA ALLA TEORIA

4.10 OSSERVAZIONE INCIDENTALI SULLE SOSTANZE A DIVERSA TEMPERATURA

4.11 OSSERVAZIONE INCIDENTALI SULLE “CONFERME” CHE UNA TEORIA PUÒ RICEVERE DALLE SUE “CONSEGUENZE”

4.12 IL ROMPICAPO COSTITUITO DAI TRE BLOCCHI DELLA MEMORIA DI CLAUSIUS – I PRIMI TRE ERRORI

4.13 ESAME LOGICO-MATEMATICO DEL PRIMO RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

4.14 SUDDIVISIONE IN DUE VARIANTI DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

4.15 ADATTAMENTO DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS ALLA PRIMA
VARIANTE

4.16 IL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS ADATTATO ALLA SECONDA
VARIANTE - ULTERIORE MOTIVO DI NON-CONDIVISIBILITÀ DELLA
DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS DEL TEOREMA DI CARNOT

4.17 ESERCIZIO PER I LETTORI

4.18 DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER LA
DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS

4.19 CONCLUSIONI SULL'ANALISI DELLA PRIMA MEMORIA DI
CLAUSIUS

4.20 TIPOLOGIE DI MACCHINE A MOTO PERPETUO

4.21 LA MACCHINA DI OSTWALD

4.22 ESERCIZIO PER I LETTORI

4.23 IL MOTO PERPETUO DI SECONDA SPECIE E I FENOMENI
NATURALI

4.24 SECONDA MEMORIA DI KELVIN SULLA TEORIA DEL CALORE

4.25 TENTATIVO DI KELVIN DI DARE UNA DIMOSTRAZIONE
GENERALE DELLA SECONDA PROPOSIZIONE

4.26 OSSERVAZIONE SUL SIGNIFICATO DELLA NOTA * DI KELVIN

4.27 IL VERO SIGNIFICATO DELL'ASSIOMA DI KELVIN

4.28 IL CONCETTO INTUITIVO DI KELVIN PER DEFINIRE LA REVERSIBILITÀ DI MACCHINE TERMICHE

4.29 IL PERSONALE CRITERIO DI KELVIN PER INDIVIDUARE LE TRASFORMAZIONI IRREVERSIBILI

4.30 L'IRREVERSIBILITÀ DEL FENOMENO NATURALE DELLA CONDUZIONE DI CALORE SECONDO KELVIN

4.31 LA DISCIPLINA DEI CALORI LATENTI E SPECIFICI E LA REVERSIBILITÀ DELLA CONDUZIONE DI CALORE

4.32 L'IMPLICITO E INDEBITO PRESUPPOSTO DI KELVIN SULLA SORGENTE DI CALORE

4.33 CRITICA E RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO DI KELVIN – PRIMO MOTIVO DI INACCETTABILITÀ

4.34 INCOMPLETEZZA DELLA DIMOSTRAZIONE DI KELVIN COME CONSEGUENZA DI DUE PRESUPPOSTI

A) PRIMO PRESUPPOSTO IMPLICITO

B) SECONDO PRESUPPOSTO NASCOSTO

4.35 COMPLETAMENTO DELLA DIMOSTRAZIONE DI KELVIN

4.36 ULTERIORE RIFLESSIONE SULLA NOTA * DI KELVIN

4.37 INUTILITÀ DELL'ASSIOMA DI KELVIN

4.38 ESERCIZIO PER I LETTORI

4.39 CRITICA: FENOMENI NATURALI E “IMPOSSIBILITÀ PER L'UOMO”

4.40 L'IPOTESI MINIMALISTA DI KELVIN PER LA SUA VERSIONE DEL
TEOREMA DI CARNOT

4.41 ESERCIZIO PER I LETTORI

4.42 CONCLUSIONI SULLA MEMORIA DI KELVIN DEL 1851

CAPITOLO 5

**LE ULTERIORI MEMORIE DI CLAUSIUS SULLA NUOVA FORMA DEL
SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA**

5.1 LA SECONDA MEMORIA DI CLAUSIUS DEL 1854

5.2 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI CIRCA LA SECONDA MEMORIA DI
CLAUSIUS

5.3 IL TEOREMA DI EQUIVALENZA CALORE-LAVORO E IL PRIMO
PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

5.4 ULTERIORI RESTRIZIONI IMPOSTE DA CLAUSIUS ALLA TEORIA

5.5 NUOVA FORMULAZIONE DEL SECONDO TEOREMA
FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA - PARTE PRIMA: PROCESSI
REVERSIBILI

5.6 LE MEMORIE DI CLAUSIUS DEL 1850 E 1854 A CONFRONTO - IDENTIFICAZIONE DELL'ASSIOMA DI CLAUSIUS

5.7 IL CONCETTO DI CLAUSIUS SULL'EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI REVERSIBILI COME COROLLARIO DEL TEOREMA DI CARNOT

5.8 IL CICLO COMPLESSO A TRE CORPI DI CLAUSIUS

5.9 SINOSI DEL CICLO A TRE CORPI DI CLAUSIUS

5.10 IL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI REVERSIBILI SECONDO CLAUSIUS

5.11 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

5.12 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI

5.13 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI MA CON CORPO VARIABILE DIFFERENTE

5.14 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI DIFFERENTI SIA PER TRASFORMAZIONI CHE PER CORPO VARIABILE

5.15 CRITICA: PRIMO MOTIVO DI INVALIDITÀ DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

5.16 CRITICA: SECONDO MOTIVO DI INVALIDITÀ DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

5.17 IL VALORE-EQUIVALENTE DI UNA TRASFORMAZIONE REVERSIBILE SECONDO CLAUSIUS

5.18 IL TENTATIVO DI CLAUSIUS DI AUMENTARE IL NUMERO DELLE SORGENTI

5.19 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO PER LA SOMMATORIA DEI “VALORI-EQUIVALENTI”

5.20 L'ESPRESSIONE ANALITICA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA SECONDO CLAUSIUS

5.21 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS

5.22 L'UGUAGLIANZA DELLE TEMPERATURE DELLE RISERVE DI CALORE E DELLE CORRISPONDENTI TEMPERATURE DEL FLUIDO VARIABILE

5.23 CRITICA: LA QUESTIONE DEGLI INFINITESIMI DIMENTICATI

5.24 CRITICA: IL MANCATO RICONOSCIMENTO DELL'ESISTENZA DI UNA NUOVA FUNZIONE DI STATO DEI CORPI MATERIALI

5.25 IL VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI CIRCOLARI
IRREVERSIBILI

5.26 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO DEL CONCETTO DI
“VALORE-EQUIVALENTE” DI TRASFORMAZIONI CIRCOLARI
IRREVERSIBILI - PRIMO MOTIVO

5.27 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO PER IL “VALORE-
EQUIVALENTE” DI TRASFORMAZIONI CIRCOLARI IRREVERSIBILI -
SECONDO MOTIVO

5.28 CONCLUSIONI CIRCA LA SECONDA MEMORIA DI CLAUSIUS

5.29 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.30 LA IX MEMORIA DI CLAUSIUS

5.31 IL DEFINITIVO FALLIMENTO DI CLAUSIUS NEL FORMULARE IL
SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

5.32 PROCESSO CICLICO REVERSIBILE CON UN CORPO
PARZIALMENTE LIQUIDO E PARZIALMENTE VAPORE

5.33 NUOVA FORMA DEL TEOREMA DI CARNOT - ULTIMA
OCCASIONE PER CLAUSIUS DI DIMOSTRARE L’INDIPENDENZA DELLA
MASSIMA POSSIBILE EFFICIENZA DALLA NATURA DEL CORPO
VARIABILE

5.34 CRITICA: LA BIZZARRA LOGICA DI CLAUSIUS NELLA SUA
DIMOSTRAZIONE DELLA NUOVA FORMA DEL TEOREMA DI CARNOT

5.35 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.36 CRITICA: INCOMPLETEZZA DELLA DIMOSTRAZIONE DEL NUOVO
TEOREMA DI CARNOT

5.37 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.38 LE CONSEGUENZE CHE CLAUSIUS DEDUCE DAL SUO NUOVO
TEOREMA DI CARNOT

5.39 CRITICA: L'ILLOGICITÀ DERIVATA DEI SUCCESSIVI
RAGIONAMENTI DI CLAUSIUS

5.40 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.41 PROCESSI CICLICI REVERSIBILI PIÙ COMPLESSI

5.42 PROCESSI CICLICI REVERSIBILI DI FORMA QUALSIASI

5.43 L'ILLOGICITÀ DERIVATA DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS PER
CICLI DI MAGGIORE COMPLESSITÀ

5.44 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.45 ULTIMA OCCASIONE PER CLAUSIUS DI DIMOSTRARE IL
PRINCIPIO DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

5.46 ANALISI DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS PER TRASFORMAZIONI CON TRE SORGENTI DI CALORE

5.47 CRITICA: PRIMA IRRAZIONALITÀ NEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” CON TRE RISERVE DI CALORE

5.48 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.49 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” PER TRE RISERVE DI CALORE

5.50 CRITICA: DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER IL TEOREMA DELLE TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI CON TRE RISERVE DI CALORE

5.51 CRITICA: CONCLUSIONI SULLA DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER IL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” CON TRE RISERVE DI CALORE

5.52 CRITICA: INAPPLICABILITÀ DEL PRINCIPIO DEL TERZO ESCLUSO NEL TEOREMA DI CLAUSIUS DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” CON TRE RISERVE DI CALORE

5.53 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.54 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” PER LA

CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI E TRE RISERVE
DI CALORE

5.55 CRITICA: DEFINITIVA CADUCAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DI
CLAUSIUS DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI”
CON TRE RISERVE DI CALORE

5.56 IL CONCETTO DI “VALORE-EQUIVALENTE DELLE
TRASFORMAZIONI” CON TRE RISERVE DI CALORE

5.57 CRITICA: INUTILITÀ DELL'ANALISI DEL TEOREMA DI CLAUSIUS
DEL “VALORE-EQUIVALENTE” DELLE TRASFORMAZIONI CON TRE
RISERVE DI CALORE

5.58 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.59 IL “VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI” CON
NUMERO ILLIMITATO DI RISERVE DI CALORE

5.60 CRITICA: LA NUOVA “REGOLA” DI CLAUSIUS PER
DETERMINARE IL “VALORE-EQUIVALENTE” DI UNA
TRASFORMAZIONE

5.61 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.62 CRITICA: ULTERIORE MOTIVO DI ASSENZA DI SIGNIFICATO
DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS

5.63 ESERCIZIO PER I LETTORI

5.64 IL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE PER LE
TRASFORMAZIONI IRREVERSIBILI

5.65 CRITICA: RIASSUNZIONE DEGLI ERRORI DI CLAUSIUS NEL
RAGIONAMENTO DEL 1854 RELATIVO ALLA SUA FAMOSA
DISUGUAGLIANZA

5.66 IL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS DEL 1879 CIRCA LA SUA
FAMOSA DISUGUAGLIANZA

5.67 CHIARIMENTO

5.68 CRITICA: CONFRONTO DEI RAGIONAMENTI DI CLAUSIUS PER LA
PARTE REVERSIBILE E QUELLA IRREVERSIBILE DELLA SUA
DIMOSTRAZIONE

5.69 CRITICA: PRIMA SEZIONE - CICLI REVERSIBILI

5.70 CRITICA: SECONDA SEZIONE - CICLI IRREVERSIBILI

5.71 CRITICA NUMERO UNO SULLA SECONDA SEZIONE

5.72 CRITICA NUMERO DUE SULLA SECONDA SEZIONE

5.73 CRITICA NUMERO TRE PER LA SECONDA SEZIONE

CAPITOLO 6

**LA VERSIONE ENTROPICA DEL SECONDO TEOREMA
FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA**

6.1 IL DEFINITIVO FALLIMENTO DEL PROGRAMMA DI CLAUSIUS

6.2 CONCLUSIONI SULL'IMPOSTAZIONE DEL SECONDO TEOREMA
FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA DOVUTA A CLAUSIUS

6.3 DIGRESSIONE SU “THE BERLIN SCHOOL OF THERMODYNAMICS” E
SUL PROCESSO DI REVISIONE PARITARIA DI QUEL PERIODO DI TEMPO

CAPITOLO 7

**LA VERSIONE MODERNA DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA
TERMODINAMICA**

7.1 PREMESSA

7.2 DIGRESSIONE SUL “PENSIERO DOMINANTE” DOVUTO AI PIÙ
CELEBRI SCIENZIATI

7.2-A) JAMES CLERK MAXWELL

7.2-B) WILHELM OSTWALD

7.2-C) MAX PLANCK

7.3 CONTENUTI DEI MODERNI LIBRI DI TESTO DI TERMODINAMICA
CLASSICA

7.4 IL RADIATORE DI CALORE COME COMPONENTE INDISPENSABILE
DI QUALSIASI MACCHINA TERMICA

7.5 CRITICA: LA LIMITAZIONE DELLA TEORIA ALLE SOLE MACCHINE
CICLICHE

7.6 LA PREMATURA LIMITAZIONE DEL MASSIMO RENDIMENTO POSSIBILE

7.7 L'ENUNCIATO KELVIN-PLANCK DELLA SECONDA LEGGE DELLA TERMODINAMICA

7.8 CRITICA: IL RICHIAMO ALLA DELETERIA NOTA * DI KELVIN

7.9 CRITICA: L'ARGOMENTO CHE NESSUNO AVREBBE MAI COSTRUITO UN MOTO PERPETUO DI SECONDA SPECIE

7.10 LE VARIE MODIFICAZIONI APPORTATE ALL'ASSIOMA DI CLAUSIUS

7.11 CONSIDERAZIONI SULLE DIMOSTRAZIONI DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI

7.12 SULLA PRESUNTA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – PRIMA MODALITÀ

7.13 CRITICA: L'INEFFICACIA DELLA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – PRIMA MODALITÀ

7.14 ESERCIZIO PER I LETTORI

7.15 SULLA PRESUNTA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – SECONDA MODALITÀ

7.16 CRITICA: L'INEFFICACIA DELLA DIMOSTRAZIONE
DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – SECONDA MODALITÀ

7.17 ESERCIZIO PER I LETTORI

7.18 LA PREMATURA DEFINIZIONE DI PROCESSI REVERSIBILI E
IRREVERSIBILI

7.19 RIASSUNTO DEI CONCETTI RELATIVI A REVERSIBILITÀ E
IRREVERSIBILITÀ ESPRESSI NEI TESTI

7.20 ESEMPI DI PROCESSI NATURALI RITENUTI IRREVERSIBILI

7.21 ESERCIZIO PER I LETTORI

7.22 LE STRAORDINARIE PROPRIETÀ ATTRIBUITE ALLE SORGENTI DI
CALORE

7.23 IL CONCETTO ATTUALMENTE CONDIVISO DI MACCHINA DI
CARNOT

7.24 DEFINIZIONE DI REFRIGERATORE DI CARNOT

7.25 IL TEOREMA DI CARNOT E I SUOI COROLLARI

7.26 LA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO IL
METODO DI KELVIN - SINOSSI

7.27 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL
TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI KELVIN – PRIMO
MOTIVO

7.28 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL
TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI KELVIN – SECONDO
MOTIVO

7.29 LA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO
L'IMPOSTAZIONE DI CLAUSIUS - SINOSI

7.30 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL
TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI CLAUSIUS – PRIMO
MOTIVO

7.31 ESERCIZIO PER I LETTORI

7.32 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL
TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI CLAUSIUS –
SECONDO MOTIVO

7.33 IL TEOREMA DI CARNOT SECONDO I MODERNI LIBRI DI TESTO DI
TERMODINAMICA CLASSICA – CONCLUSIONI

7.34 LA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

7.35 ENTROPIA – RIASSUNTO E CRITICA

7.36 L'AUMENTO DI ENTROPIA CHE L'UNIVERSO SUBIREBBE AL VERIFICARSI DI UN QUALUNQUE PROCESSO TERMICO

7.37 CONCLUSIONI GENERALI CIRCA I MODERNI TESTI DI TERMODINAMICA CLASSICA

7.38 L'APPROCCIO STATISTICO AL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

7.39 SUPERAMENTO DEL LIMITE PROPOSTO DA MARIO AGENO E PROPOSTA DI UN NUOVO ASSIOMA

7.40 ESERCIZIO PER I LETTORI

7.41 LA TERMODINAMICA ASSIOMATICA DI CARATHÉODORY

7.42 LE PROPRIETÀ TERMODINAMICHE DI SOSTANZE PURE E LA LORO IPOTETICA UTILIZZAZIONE PER LA VERIFICA NUMERICA DEL TEOREMA DI CARNOT

7.43 CENNO SULLA MEMORIA DEL DOTTOR LEONARDO CHIATTI

7.44 SINTESI DELLE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE DIMOSTRAZIONI DEL SECONDO TEOREMA DELLA TERMODINAMICA CLASSICA FINORA ESAMINATE

7.45 I SUCCESSORI DEI PADRI FONDATORI E IL PRINCIPIO DEL TERZO ESCLUSO

7.46 CONMIATO CON IL LETTORE GENERICO

CAPITOLO 8

ATTITUDINE MENTALE NECESSARIA PER LA RIFONDAZIONE DELLA TEORIA DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

8.1 PREMESSA

8.2 PRIMO PASSO: DISSIPARE TUTTI GLI EQUIVOCI ED ELIMINARE INUTILI E ANZI DANNOSI PRESUPPOSTI E “LIMITAZIONI”

8.3 SECONDO PASSO: DISCUSSIONE SULLA DEDUCIBILITÀ DI UN PRINCIPIO FISICO CON METODI DI LOGICA-MATEMATICA

8.4 ESERCIZIO PER I LETTORI

8.5 TERZO PASSO: ABBANDONARE LA SCALA TERMODINAMICA ASSOLUTA DI TEMPERATURA DI KELVIN

8.6 QUARTO PASSO: RIESAMINARE GLI ESPERIMENTI FINALIZZATI ALLA COSTRUZIONE DELLA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA

8.7 LA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA AD EFFETTO TERMOIONICO NEL VUOTO PNEUMATICO

8.8 SINTESI DELLA MEMORIA DEL DR. XU YELIN SUL “DIODO NON-BIAS” A VUOTO PNEUMATICO

8.9 REAZIONI MANIFESTATE DALLA COMUNITÀ SCIENTIFICA A SEGUITO DELLA PUBBLICAZIONE DEL DR. XU YELIN

8.10 LA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA A STATO SOLIDO

DEL DR. XU YELIN

8.11 IL MISTERO DELLA MEMORIA DEL DR. XU YELIN SUL DIODO

NON-BIAS A STATO SOLIDO

8.12 LE DOMANDE DI BREVETTO SUL DIODO NON-BIAS A STATO

SOLIDO

8.13 LA BATTERIA AL GRAFENE

8.14 “QUENCO” - IL CONVERTITORE DI ENERGIA TERMICA A SALTO

QUANTICO DI ELETTRONI

8.15 ESERCIZIO PER I LETTORI

8.16 IL SEMPLICE ESPERIMENTO DI PHILIP HARDCASTLE

8.17 QUINTO PASSO: PROPORRE ED EFFETTUARE UN EXPERIMENTUM

CRUCIS PER IL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

8.18 PERFEZIONAMENTO DELL'ESPERIMENTO DI PHILIP HARDCASTLE

8.18.A) DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO

8.18.B) DETTAGLI COSTRUTTIVI E DI FUNZIONAMENTO

8.18.C) TRATTAMENTO PREVENTIVO DEI TUBI A VUOTO PRIMA
DELL'ESPERIMENTO

8.18.D) RISULTATI DELL'ESPERIMENTO E CONCLUSIONI

8.19 IL RUOLO FONDAMENTALE DELLA COMUNITÀ SCIENTIFICA PER
LA DECISIONE DI PROMUOVERE UN EXPERIMENTUM CRUCIS PER IL
SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

8.20 IL RUOLO ESSENZIALE DELLA SOCIETÀ PER LA RIFONDAZIONE
DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

8.21 SESTO PASSO: INDIVIDUAZIONE DELL'EXPERIMENTUM CRUCIS

8.22 LA NECESSITÀ DI NUOVI ASSIOMI PER LA RIFONDAZIONE DELLA
TEORIA SUL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

8.23 SUGGERIMENTI PER LA RICERCA DI NUOVI ASSIOMI

8.24 PROPOSTA PER IL NUOVO PRINCIPIO NATURALE DI ENTROPIA

8.25 IL CONTRO-ASSIOMA DEL PRINCIPIO NATURALE DI ENTROPIA

8.26 E NEL FRATTEMPO?

CAPITOLO 9 **APPENDICE A**

9.1 IL TEOREMA DI CARNOT PER MACCHINE TERMICHE STATICHE O
NON-CICLICHE

9.2 ESERCIZIO PER I LETTORI

9.3 LA DEFINIZIONE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI
TEMPERATURA

9.4 L'EQUAZIONE ATTUALMENTE CONDIVISA PER LA DETERMINAZIONE DEL MASSIMO RENDIMENTO TEORICO

9.5 IL TERZO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

9.6 CRITICA: L'INTRINSECA AMBIGUITÀ DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA E LA SUA SOSTANZIALE IRRAZIONALITÀ

9.7 CRITICA: IL TEOREMA DI CARNOT, LA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA E IL TERZO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

9.8 CRITICA: SECONDO ASPETTO SCONCERTANTE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

9.9 CRITICA: TERZO ASPETTO SCONCERTANTE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

9.10 CONSIDERAZIONI SULLA POSSIBILITÀ DI DEFINIRE UNA VERA “UNITÀ DI MISURA” PER LA TEMPERATURA

9.11 PROPOSTA DI UNA NUOVA SCALA RAZIONALE ASSOLUTA DI TEMPERATURA

CAPITOLO 10

APPENDICE B

TEOREMI RELATIVI A CICLI IDEALI CON GAS REALI

10.1 PREMESSA

10.2 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE

10.2-A) ACCOPPIAMENTO DI DUE TRASFORMAZIONI ISOBARE STAZIONARIE REVERSIBILI

10.2.B) ACCOPPIAMENTO DI DUE TRASFORMAZIONI ISOBARE STAZIONARIE IRREVERSIBILI

10.3 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE PER TRASFORMAZIONI ISOBARE

10.4 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE PER TRASFORMAZIONI ISOCORE

10.5 LEMMA LE-1

10.6 COROLLARIO CLE-1

10.7 TEOREMA TE-1

10.8 COROLLARIO CE-1

10.9 TEOREMA TE-2

10.10 COROLLARIO CE-2

10.11 TEOREMA TE-3

10.12 COROLLARIO CE-3

10.13 TEOREMA TE-4

10.14 COROLLARIO CE-4

10.15 LEMMA LS-1

10.16 COROLLARIO CLS-1

10.17 TEOREMA TS-1

10.18 COROLLARIO CS-1

10.19 TEOREMA TS-2

10.20 COROLLARIO CS-2

10.21 TEOREMA TS-3

10.22 COROLLARIO CS-3

10.23 TEOREMA TS-4

10.24 COROLLARIO CS-4

CAPITOLO 11

APPENDICE C – PROGRAMMI DI CALCOLO COMPUTERIZZATI

11.1 CALCOLO NUMERICO DEL RENDIMENTO DI CICLI
TERMODINAMICI IDEALI CON E SENZA RECUPERATORE
PERFETTO DI CALORE

11.2 ISTRUZIONI

11.3 PROGRAMMA CARNOT

11.4 PROGRAMMA CARNOTI

11.5 PROGRAMMA STIRLING

11.6 PROGRAMMA STIRREV

11.7 PROGRAMMA ERICSSON

11.8 PROGRAMMA ERIXREV

CAPITOLO12
APPENDICE D

12.1 CONTRODEDUZIONI SULLA MEMORIA “CONSIDERATIONS ABOUT THE ANOMALOUS EFFICIENCY OF PARTICULAR THERMODYNAMIC CYCLES” DEL DR. LEONARDO CHIATTI

12.1.A) L’ANDAMENTO MONOTONICO DELLA FUNZIONE ENTROPIA IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

12.1.B) IL FANTASIOSO ANDAMENTO DEL CALORE SPECIFICO IPOTIZZATO DA CHIATTI

12.1.C) LA NON-GENERALITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DI CHIATTI – PRIMO MOTIVO

12.1.D) LA NON-GENERALITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DI CHIATTI – SECONDO MOTIVO

12.1.E) CONCLUSIONI SULLA MEMORIA DI CHIATTI

12.2 “QUENCO”: IL CONVERTITORE DI ENERGIA QUANTICA

12.3 ANNUNCIO DEL CONVEGNO “CONTROVERSIE SU TERMODINAMICA E VITA”

12.4 BILANCIO ENERGETICO DEL DIODO NON-BIAS A VUOTO

PNEUMATICO DI XU YELIN

12.4.A) SUGGERIMENTI PER LA REPLICAZIONE DEL DIODO NON-BIAS

A STATO SOLIDO

12.5 BLOG CINESE 03.03.2005

12.6 TRADUZIONE DEL BLOG CINESE 03.03.2005

12.7 ATTESTATO DI BREVETTO ITALIANO PER INVENZIONE

INDUSTRIALE N.1206242

CAPITOLO 1

CRONISTORIA PERSONALE

Mi sembra importante iniziare questo libro con una sintetica esposizione dell'evoluzione del pensiero e degli avvenimenti che mi hanno portato a scriverlo.

La necessità di tentare una rivisitazione di alcuni concetti della Termodinamica Classica, come il teorema di Carnot, il Secondo Principio della Termodinamica, il terzo principio della termodinamica, ed infine l'impostazione della scala termometrica di Kelvin, iniziò per me in occasione del corso di laurea in fisica presso l'Università *La Sapienza* di Roma.

Nel primo anno di studi (erano gli anni '60) tra le materie di studio erano comprese fisica-1, analisi matematica e meccanica razionale.

All'epoca non lo notai (perché non ero in condizione di farlo), ma molto tempo dopo mi accorsi che il programma di studi della facoltà di fisica non comprendeva la logica-matematica.

A tale proposito, mi è sembrata significativa la seguente considerazione espressa da Clifford Truesdell:

“La termodinamica del diciannovesimo secolo divenne un nuovo stile, in cui il fisico applica la matematica che gli capitato di conoscere. Se la matematica non basta, accorcia il problema al suo livello. Un tale fisico non ritiene necessario che i suoi studenti imparino altra matematica oltre quella che gli è stata insegnata quando era studente. La ricerca matematica nel frattempo è avanzata velocemente, ma poco di questo è stato imparato dai fisici. Sono diventati puri e ancora più puri. I fisici sono giunti infine a pensare che tutta questa nuova matematica fosse inutile; che i matematici avevano dimenticato il loro compito di insegnare la buona e vecchia matematica già usata in fisica a quindi (ovviamente) destinata a bastare per sempre; e che loro stessi dovevano insegnare matematica “fisica” ai loro studenti: strumenti matematici per i fisici !”. (The Tragicomical History, p. 339, Epilogo).

Il programma di studi per la laurea in fisica allora in vigore comprendeva lezioni di Metodi Matematici della Fisica, ma non comprendeva lezioni di Logica-Matematica.

Il programma di studi per il secondo anno comprendeva, tra l'altro, il primo e il secondo principio della termodinamica, il teorema di Carnot, la scala termometrica di Kelvin e il terzo principio della termodinamica.

Le idee che i professori esponevano relativamente a tali concetti, per renderli chiari, mi sembravano invece in contraddizione insanabile con il Metodo Sperimentale, appreso nel primo anno di studi.

La seconda legge della termodinamica veniva espressa con assunti arbitrari e bizzarri, come ad esempio l'assioma di Kelvin, o quello di Clausius e poi con tante altre espressioni dovute a diversi autori.

A tale riguardo, Clifford Truesdell ha così commentato:

“Esito a usare i termini “prima legge” e “seconda legge”, perché ci sono quasi tante “prima e seconda legge” per quanti termodinamici ci sono...”. (*Rational Thermodynamics* 1° Ed., p. 11).

A peggiorare le cose, dal mio punto di vista, venivano usate dimostrazioni per assurdo per dimostrare il teorema di Carnot, seguite da discorsi confusi sul principio di aumento universale dell'entropia.

Il Secondo Principio della Termodinamica veniva giustificato anche con tutta una serie di modalità e ragionamenti diversi.

L'insieme di tutti questi concetti avrebbe dovuto garantire, nelle intenzioni dei docenti e degli autori dei libri di testo, verità e inattaccabilità del principio stesso.

Dal mio punto di vista, invece, l'insieme di tutti i concetti che avevo dovuto imparare per superare gli esami, mi faceva sospettare l'esistenza di qualche problema di impostazione: Vedevo troppe “impossibilità” e troppo dogmatismo.

Avevo infatti precedentemente imparato che, in fisica, i principi sono idee indimostrabili, astrazioni desunte da lunghe, precise e sistematiche osservazioni sperimentali.

Queste prendono in considerazione determinati fenomeni fisici, e il ripetersi di certi risultati, induce a ritenere che quei comportamenti si possano generalizzare fino a esprimere un assioma, talmente generale, da comprendere ogni altro fenomeno fisico della stessa natura.

L'assioma consente, quindi, di prevedere gli esiti di altre situazioni sperimentali analoghe.

Stante questa natura induttiva, qualunque principio fisico è (o almeno dovrebbe essere) considerato dai fisici sempre come

provvisorio, in attesa di un particolare esperimento che lo contraddica.

Se, a seguito di questa vigilanza continua, una violazione del principio viene sperimentalmente constatata e verificata da altri ricercatori indipendenti, e se la Comunità Scientifica prende atto di questa contraddizione, si deve giungere ad un aggiustamento del principio.

Questa nuova formulazione del principio deve comprendere sia i vecchi fenomeni, sia il fenomeno nuovo che ha determinato il cambiamento.

Ciò premesso, mi sembrava vero che anche il Secondo Principio della Termodinamica consistesse in una astrazione, espressa come assioma, ma mi sembrava paradossale che si pretendesse di basare una teoria fisica sull'impossibilità di realizzare un certo esperimento.

Questo mi è sembrato come una negazione del Metodo Scientifico.

La fisica che avevo fino ad allora studiato, infatti, prendeva in considerazione fenomeni che si verificano in Natura, non fenomeni che non si verificano.

Questa impostazione mi insinuava nella mente il subdolo concetto che ideare esperimenti aventi lo scopo di contraddire il Secondo Principio della Termodinamica fosse inutile, e che tale principio fosse ritenuto non-falsificabile.

Il principio in questione cominciava a delinearsi, ai miei occhi, come un principio indiscutibile, vero per definizione e non soggetto al monitoraggio.

Secondo l'impostazione che gli è stata data, il Secondo Principio della Termodinamica sfugge, in effetti, alla vigilanza continua alla quale sono soggetti tutti gli altri principi della fisica.

Una più convincente definizione del secondo principio mi sembrò

che fosse quella data in termini di entropia. Questa consiste nell'idea che, nei sistemi isolati, l'entropia debba crescere monotonamente fino a che non sia raggiunto l'equilibrio termico.

All'epoca dei miei studi, questa seconda modalità di presentazione mi è sembrò meno criticabile, ma non del tutto priva di problemi.

Dal mio punto di vista, la vera anomalia dell'interpretazione corrente del Secondo Principio della Termodinamica è la seguente: Non si riferisce solo ai fenomeni naturali (come dovrebbe essere per un principio fisico), essa impone, invece, un limite alle capacità inventive dell'uomo e usa tale limite per costruire una teoria relativa ai fenomeni termici che si verificano in Natura.

Questo mi sembrò fosse il vero nodo da sciogliere, ma certamente non fui in grado di farlo nel corso dei miei studi in fisica.

Fu solo dopo la laurea in fisica che iniziai i miei studi personali finalizzati a tale scopo.

Nel 1987, i dati sulle proprietà termodinamiche dell'elemento chimico Argo, contenute in una pubblicazione del National Standard Reference Data Series (U.S.A.) pubblicate nel 1969, mi consentirono di depositare in Italia una domanda di brevetto industriale intitolato “*Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta*”. In Appendice D è riportato l'attestato di riconoscimento del rilascio del brevetto.

Nel 1993 pubblicai le mie considerazioni sulla erroneità di quella parte della teoria dinamica del calore relativa al Secondo Principio della Termodinamica, con un libro in Italiano intitolato “*Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale – e sulle macchine idonee a sviluppare questa potenza*”.

Non vi fu praticamente nessuna reazione da parte della Comunità Scientifica.

Molti anni più tardi, riassunsi i contenuti essenziali del mio studio

sul Secondo Principio della termodinamica, esprimendoli nella relazione introduttiva del convegno: “*Controversie su Termodinamica e Vita*”, tenutosi il 15 dicembre 2008 presso l'Università Roma-Tre. In Appendice D è riportato l'annuncio del convegno.

Vincenzo Valenzi, l'organizzatore del Convegno, si fece anche promotore della pubblicazione della mia relazione (tradotta in Inglese) nel sito della CIFA-ICEF (Comite International de Recerche et d'Etude de Facteurs de l'Ambiance).

Pertanto, la mia citata relazione si trova (dal 2011 fino al giorno d'oggi) nel sito web www.cifafondation.org sotto il pulsante CIFA News (n. 44, Jan-Jun 2011) con il titolo : “*Reflections on the Second Principle of Thermodynamics*”.

In occasione di quel convegno, distribuii gratuitamente a tutti gli intervenuti in sala un Compact Disk contenente la mia relazione introduttiva e altri file di supporto.

Speravo così di sollecitare qualche tipo di reazione; che si potessero creare le condizioni per instaurare una discussione sul tema, ma non si verificò nulla del genere.

L'unico degli intervenuti che intraprese qualche iniziativa, si era già espresso negativamente sulla mia impostazione e successivamente continuò a mantenere la sua opposizione.

A parte ciò, non mi è giunta nessuna notizia di qualcuno che abbia ripreso l'argomento, e questo “assordante silenzio” ha contribuito molto a spingermi a pubblicare il presente libro.

Per concludere, come ho accennato nell'Introduzione, c'è un solo modo, a mio avviso, per evidenziare gli errori compiuti dalla Scienza nel formulare il Secondo Principio della termodinamica: Rileggere, con spirito critico, i lavori scientifici originali dei Padri Fondatori della teoria termodinamica.

CAPITOLO 2 CONCETTI PROPEDEUTICI

2.1 PREMESSA

La teoria termodinamica classica, attualmente condivisa dalla maggior parte della Comunità Scientifica, si è formata verso la metà dell'800. Sono molti gli scienziati che si occuparono della interpretazione teorica del calore. Nella precisa bibliografia di “*The Tragicomical History*” ne sono elencati 20 dal 1822 fino al 1854, anno in cui “...la teoria è pronta per essere consegnata ai posteri”.

Tuttavia, l'esame critico che ci accingiamo a fare non è così gravoso, perché il numero degli studiosi che hanno lasciato un segno duraturo per la teoria del calore li possiamo restringere a cinque.

In ordine di tempo, si tratta di Carnot, Clapeyron, Joule, Kelvin e infine Clausius. I lavori di questi pionieri sono stati pubblicati nell'intervallo di tempo tra il 1824 e il 1854, e per Clausius, fino al 1879.

La notevole memoria pubblicata nel 1853 dall'ingegnere Ferdinand Reech (1805-1884), fu esclusa e messa da parte. Questo lavoro, come riporta TRUESDELL (*The Tragicomical History*, p. 295) fu ritenuto, da parte di Hermann Ludvig von Helmholtz, troppo generale per meritare studio.

Nel 1853, infatti, HELMHOLTZ pubblica una stroncatura del lavoro di Reech con un articolo intitolato “*Review of Reech*”.

Helmholtz era considerato uno degli scienziati più poliedrici del tempo, ed era soprannominato “Cancelliere della fisica”. La stroncatura da parte di Helmholtz del lavoro di Reech fu determinante nel cambiare il corso della teoria.

Tutti i lavori di questi autori, compreso Reech, sono facilmente rintracciabili in rete, sia sotto forma di riproduzioni cartacee,

piuttosto costose, sia sotto forma di copie digitalizzate delle pubblicazioni originali. In entrambi i casi, sono reperibili i testi originali.

In considerazione della facilità di reperire in rete questi lavori, ed anche per alleggerire la presente pubblicazione, il livello superiore di lettura del presente libro è costituito dal rimando ai link, cioè gli indirizzi di rete da cui detti lavori possono essere scaricati.

Ho cercato di indicare link nei quali la lettura è gratuita, oppure poco costosa. In alcuni casi, c'è l'inconveniente dell'impossibilità di stampare le pagine, trattandosi di file di sola-lettura.

Per fortuna, anche in questi casi qualche pagina particolarmente interessante può essere comunque estratta e riportata in formato cartaceo. Questo si può ottenere usando il pulsante “Stamp” della tastiera, che copia la schermata in memoria volatile. Successivamente, questo file può essere incollato dentro qualche programma di grafica, per poterlo salvare in formato stampabile .pdf.

2.2 SINTESI DEGLI OBIETTIVI DEI PADRI FONDATORI DELLA TEORIA TERMODINAMICA CLASSICA

I principali fondatori, o pionieri, della teoria termodinamica sopra menzionati, Carnot, Clapeyron, Joule, Kelvin e Clausius, si proponevano scopi diversi tra loro. Nel seguito analizzeremo i lavori di questi precursori, dando più rilievo a quelli più importanti per lo sviluppo della teoria del calore.

Il nostro racconto inizia con Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), il quale si era laureato presso una accademia militare Francese.

CARNOT aveva un interesse di tipo tecnico-militare al miglioramento dell'efficienza delle macchine termiche del suo

tempo. Nella stesura del suo famoso libretto “*Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres a Développer cette Puissance*”, pubblicato nel 1824, CARNOT sviluppò i suoi argomenti senza l'uso di alcuna matematica, e lo scrisse nel presupposto che il calore fosse un fluido immateriale e invisibile chiamato Calorico.

A CARNOT è riconosciuto il grande merito di avere introdotto criteri generali per progettare le macchine termiche.

Il nostro racconto prosegue con l'intervento di Benoit Paul-Émile Clapeyron (1799-1864), ingegnere minerario e scienziato. Anche CLAPEYRON era interessato al calore per motivi ingegneristici.

A distanza di circa dieci anni dalla morte di CARNOT, CLAPEYRON recupera una copia del libretto di CARNOT e ne rielabora le idee esprimendole matematicamente. CLAPEYRON pubblicò questo suo lavoro nel 1834 con il titolo “*Puissance Motrice de la Chaleur*”, rintracciabile al seguente link:

https://books.google.it/books?id=Igo3AQAAMAAJ&pg=PA153&dq=memoire+sur+la+puissance+motrice+de+la+chaleur&hl=it&sa=X&ved=0ahUKEwiUl_iBnq_NAhVJtBQKHVGyD7U4FBDoAQgsMAI#v=onepage&q=memoire%20sur%20la%20puissance%20motrice%20de%20la%20chaleur&f=true

o anche:

https://en.wikisource.org/wiki/Scientific_Memoirs/1/Memoir_on_the_Motive_Power_of_Heat

Da quel momento in poi, le idee originali di CARNOT iniziarono a circolare nella Comunità Scientifica.

Dopo circa un altro decennio, si verifica l'intervento di James Prescott Joule (1818-1889) - studioso autodidatta di materie scientifiche, dotato di grande abilità come sperimentatore di fenomeni fisici. Attratto dal mistero che circondava la natura del

calore, JOULE condusse una serie di esperimenti scientifici molto accurati su questo argomento.

JOULE riuscì a dimostrare che il calore non era un fluido immateriale, bensì una forma di movimento meccanico. Inizialmente, egli rese pubblici gli esiti dei suoi esperimenti intervenendo in pubbliche conferenze. Pubblicò i suoi risultati nel 1845.

JOULE aveva un interesse speculativo, però limitato dal punto di vista teorico, nel senso che non era in grado di sviluppare una teoria completa del calore.

Dopo circa quattro anni, nel 1849, interviene William Thomson (1824-1907), in seguito Lord Kelvin, con la pubblicazione di una memoria.

KELVIN era un eccellente accademico, ma aveva grande abilità anche come imprenditore, tanto che diventò ricchissimo. Uno dei suoi interessi era la creazione di una teoria generale del calore. Sebbene fosse a conoscenza degli sconvolgenti risultati sperimentali di JOULE, KELVIN non fu tempestivo nel prendere atto che il calore non era un fluido. Quindi, nel 1849 scrisse un articolo finalizzato a quanto detto, ma basato ancora sulla teoria del Calorico.

L'anno successivo, nel 1850, interviene Rudolf Clausius (1822-1888), anche lui accademico di alto livello.

CLAUSIUS inizia subito a formulare la nuova teoria del calore tenendo conto degli esperimenti di JOULE. L'opera di CLAUSIUS su questo tema prosegue negli anni con varie memorie, e nel 1879 egli pubblica un'opera riassuntiva di tutti i suoi lavori sulla nuova teoria termodinamica.

Si attribuisce a CLAUSIUS il merito di aver impostato il secondo principio in termini di Entropia, e la relativa teoria del calore è

considerata definitiva dalla (maggioranza) della Comunità Scientifica.

2.3 LA TEORIA DEL CALORICO

La natura del calore è rimasta misteriosa e controversa per secoli. I filosofi greci atomisti, come Leucippo e Democrito (V secolo a.c.), ritenevano che il calore derivasse da atomi leggeri dei corpi materiali. Aristotele (IV secolo a.c.), allievo di Platone (avverso alla teoria atomistica), riteneva che il calore fosse un fluido naturale. Nel '600, venne elaborata la teoria del Flogisto dal chimico Johann Joachim Becher (1635-1682), poi rielaborata dal medico e scienziato Georg Ernst Stahl (1659-1734). Essi elaborarono il principio di infiammabilità.

La teoria del Calorico fu sviluppata nel secolo successivo. Risulta che il primo a sostenere questa nuova teoria fu il medico e scienziato olandese Herman Boerhaave (1668–1738), seguito dal chimico e fisico Joseph Black (1728–1799). Seguirono i lavori sul Calorico di Antoine-Laurent de Lavoisier (1743–1794); Jean Pabstise Joseph Fourier (1768–1830); Pierre Simon Laplace (1749 –1827) e Siméon-Denis Poisson (1781–1840).

Il Calorico, secondo l'omonima teoria, era un fluido sottile, invisibile, indistruttibile e senza peso, capace di penetrare i corpi materiali.

Come si è accennato in precedenza, fu JOULE a dimostrare, con metodi sperimentali, che il movimento meccanico si poteva trasformare completamente in calore. Ne conseguiva che la teoria del Calorico era errata. Come era prevedibile e doveroso, la Comunità Scientifica si mise in moto per riformulare la teoria in modo da comprendere i nuovi dati sperimentali.

2.4 CONCETTI GALILEIANI A FONDAMENTO DELLA

SCIENZA MODERNA

Prima di entrare nel vivo della specifica questione del calore come espressione di moti microscopici, è opportuno premettere alcuni cenni circa il Metodo Sperimentale adottato dalla scienza moderna.

Galileo Galilei (1564–1642) è ritenuto il padre fondatore della scienza moderna, in quanto gli si riconosce il merito di aver introdotto il Metodo Sperimentale per le indagini sui fenomeni naturali. Il metodo adottato da GALILEI si basa su due concetti fondamentali. Il primo, consiste nel ritenere che sia errato descrivere la Natura senza tenere conto dell'esperienza, o di esperimenti condotti con rigore e riproducibilità.

Il secondo, è che *“il libro della Natura è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche. Senza i quali mezzi è impossibile intender umanamente parola; senza questi mezzi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto”*. Questi concetti, introdotti da GALILEI ne *“Il Saggiatore”* (1623), si contrapponevano alla visione aristotelica del mondo, allora in auge.

2.5 FISICA ARISTOTELICA, GEOCENTRISMO CATTOLICO E GALILEO GALILEI

Nei secoli che precedono GALILEI, la fisica rientrava tra le scienze filosofiche. *“Fisica”* è infatti il titolo di uno dei trattati di Aristotele (384–322 a.c.). Questo grande filosofo greco, discepolo di Platone (428–347 a.c.), è ricordato principalmente per i suoi scritti in età matura. Egli scrisse, tra l'altro, trattati di filosofia su Logica, Metafisica, Fisica, Sull'anima, Etica, Politica, Retorica e Poetica.

L'approccio di Aristotele al mondo fisico prescindeva dalla puntuale misurazione dei movimenti e delle trasformazioni dei corpi materiali. Nel pensiero aristotelico, e per i discepoli della sua scuola

peripatetica, la descrizione del mondo partiva da concetti del tutto estranei a quelli della fisica moderna.

Nel trattato “Fisica”, Aristotele individua nel mondo quattro elementi, che sono: terra, acqua, aria e fuoco. Egli crede anche nell'esistenza di un quinto elemento che chiama etere, il quale sarebbe l'elemento costituente dei “cieli” e di ogni corpo materiale. L'etere sarebbe immutabile e senza peso.

Aristotele introduce nella sua visione filosofica anche il “moto”. La descrizione del mondo che conseguiva a tali premesse aveva un carattere altamente ideologico e astratto.

Nel corso del tempo, altri filosofi naturali iniziarono a contestare e correggere l'impostazione aristotelica. Non pochi filosofi naturali cercarono di ricomporre una visione del mondo basata sull'osservazione di ciò che si verificava in natura. Nondimeno, lo studio della filosofia aristotelica continuò a far parte del bagaglio culturale di generazioni di studiosi occidentali fino al XVII secolo, ed anche oltre per certi aspetti.

Quando GALILEI puntò il suo cannocchiale verso gli astri, si rese conto che la descrizione Aristotelica dell'universo era sbagliata.

GALILEI dovette però lottare contro il dogmatismo dei peripatetici, seguaci acritici dei trattati di Aristotele, per affermare questa erroneità. I peripatetici, infatti, rigettavano la sperimentazione come mezzo di conoscenza, appoggiandosi alla filosofia naturale aristotelica.

Al tempo di GALILEI, inoltre, la visione aristotelica dell'universo era coerente con quella della Chiesa Cattolica: entrambi sostenevano la visione geocentrica dell'Universo, ove tutto ruotava attorno alla Terra, immobile al centro dell'Universo.

Con la pubblicazione dei risultati ottenuti con le osservazioni astronomiche, GALILEI giunse a negare la centralità della Terra

nell'universo e a sostenere che fosse la terra a girare attorno al sole: la visione eliocentrica copernicana.

Ben presto, iniziarono gli attacchi dell'Ordine dei Domenicani alle nuove idee di GALILEI, poiché queste rischiavano di mettere in discussione le sacre scritture. In breve, ne seguirono i noti fatti: I processi intentati contro GALILEI da parte del Sant'Uffizio per eresia, la condanna e l'abiura delle sue idee che fino ad allora aveva propugnato.

Tuttavia il tempo è stato galantuomo con GALILEI, e i criteri di indagine sulla Natura da lui proposti sono stati infine acquisiti dalla Scienza moderna, sebbene in qualche occasione quest'ultima sembri tornare a ragionare in termini Aristotelici.

2.6 ASSIOMI E POSTULATI

Al giorno d'oggi, i termini “assioma” e “postulato” sono diventati sinonimi. Questa identificazione ha iniziato ad essere comunemente adottata grazie ai lavori di matematici pubblicati verso la fine del 19° secolo. In relazione al Secondo Principio della Termodinamica, nel seguito del presente lavoro sarà necessario citare testi dei Padri Fondatori della termodinamica in cui sono citati assiomi e postulati. Per tale motivo, è bene ricordare che nel passato tra assioma e postulato si poneva una sottile distinzione.

Per il filosofo e logico greco Aristotele (384–322 a.c.), ad esempio, gli assiomi erano premesse necessarie per un certo ragionamento, in quanto ritenuti verità evidenti a tutti, mentre i postulati non erano necessari; potevano essere assunti, oppure no, a seconda del contesto.

Ad esempio, in una discussione si poteva chiedere alla controparte di seguire un ragionamento basato su certi postulati, nella supposizione che essi fossero veri.

Anche per il matematico greco Euclide (323–283 a.c.), un assioma era una verità evidente o nozione comune, mentre per postulato intendeva una enunciazione da chiedere ad altri di condividere in relazione alla esistenza di determinati fenomeni.

In ogni caso, è bene ricordare che sia “assioma” che “postulato” sono sempre stati usati per descrivere idee e concetti non-dimostrabili.

2.7 MODALITÀ DI ESPRESSIONE DEI PRINCIPI DELLA FISICA

Come abbiamo visto, il Metodo Sperimentale, introdotto da Galileo Galilei, consiste nella accurata osservazione di un certo tipo di fenomeni naturali, finalizzata ad intuire ciò che vi è di comune ed essenziale in essi, e quindi formulare il Principio fisico che governa quella tipologia di fenomeni.

La risoluzione di un qualunque problema fisico deve necessariamente partire dalla considerazione di tutti i principi afferenti a tale problema.

Normalmente, un principio fisico viene espresso con una proposizione che assume il ruolo di un assioma. In molti casi, la proposizione può essere espressa con una espressione matematica applicabile soltanto ad una certa tipologia di fenomeni. In generale, notiamo che l'espressione matematica di un principio fisico, e la proposizione che la esprime verbalmente sono sinonimi, anche se vengono espressi in due modi completamente diversi.

Facciamo un paio di esempi.

Il secondo principio della dinamica si esprime verbalmente con l'assioma:

“L'accelerazione di un corpo è direttamente proporzionale e ha la stessa direzione della forza netta agente su di esso, mentre è

proporzionale alla sua massa”.

Tale assioma può essere espresso in termini matematici con la seguente formula vettoriale: $F=ma$ in cui F e a sono vettori, quindi dotati di intensità, direzione e verso.

Pertanto, la formula vettoriale di cui sopra non discende da un teorema dedotto logicamente dall'assioma, ma è soltanto l'espressione dell'assioma nel linguaggio matematico.

Consideriamo ora il terzo principio della dinamica, che si esprime verbalmente con l'assioma:

“Per ogni forza che un corpo A esercita su un altro corpo B, se ne forma istantaneamente un'altra uguale in intensità e direzione, ma opposta in verso, causata dal corpo B che agisce sul corpo A”.

Tale assioma può essere espresso in termini matematici con la seguente formula:

$$F(A \rightarrow B) = - F(B \rightarrow A)$$

Pertanto, la formula vettoriale di cui sopra non discende da un teorema dedotto logicamente dall'assioma, ma è soltanto l'espressione dell'assioma nel linguaggio della matematica.

Nella maggior parte dei casi, l'assioma relativo ad un certo fenomeno fisico coincide con il principio fisico relativo ad esso. Per il Secondo Principio della termodinamica, invece, l'assioma non coincide con il principio – al contrario, esso consiste in una deduzione matematica (o teorema) avente per base l'assioma fondamentale relativo a tale principio.

2.8 ESERCIZIO PER I LETTORI:

Trovare un altro principio fisico, oltre al Secondo Principio della termodinamica, che al pari di questo non sia la pura e semplice formulazione matematica dell'assioma, ma che consista in una

deduzione matematica avente per base l'assioma fondamentale.

2.9 I PRESUPPOSTI DEL METODO SCIENTIFICO PER LA FISICA CLASSICA

Il Metodo Scientifico è il sistema che consente alla Comunità Scientifica di formulare e condividere principi, leggi e teorie relativamente a fenomeni naturali. Restando nel campo della Fisica Classica, che qui interessa, possiamo dire che il criterio fondamentale condiviso da tutti i fisici circa il Metodo Scientifico è il seguente:

“Soltanto ciò che può essere misurato può far parte di una teoria fisica”.

Per quanto riguarda il resto, vi sono varie correnti interpretative, ma si può affermare che, per la fisica classica (compresa, quindi, la termodinamica classica) esiste un insieme di presupposti comuni, e questi sono:

- 1) Il mondo che ci circonda (la Realtà) è osservabile per principio;
- 2) I fenomeni naturali sono determinati da cause identificabili;
- 3) Quando un esperimento viene eseguito più volte e si ottiene sempre lo stesso risultato (esperimento ripetibile), vuol dire che alla base c'è una causa naturale;
- 4) Le cause naturali non dipendono dal tempo e dal luogo;
- 5) Per essere considerati validi ai fini scientifici, gli esperimenti devono produrre gli stessi effetti qualunque sia lo sperimentatore;
- 6) In definitiva, un certo fenomeno naturale può essere descritto secondo uno schema.

In generale, usare il Metodo Scientifico in un certo settore del Sapere, può significare che si stanno adottando i criteri necessari e

sufficienti per escludere da quello specifico settore considerazioni di pseudo-scienze, metafisica e religioni.

Usare il metodo scientifico può anche voler significare che ci si sta conformando a determinati protocolli di studio e di ricerca condivisi dalla Comunità Scientifica.

Sebbene i predetti presupposti siano stati accettati dalla Comunità Scientifica, quest'ultima si è divisa in scuole di pensiero tra i sostenitori del metodo induttivo e quelli del metodo deduttivo o ipotetico-deduttivo.

Il metodo induttivo consiste nel partire dai particolari per giungere o risalire (per l'appunto, tramite l'induzione, dal latino “inductio” = chiamare verso di se) al generale o universale.

Il metodo deduttivo (dal latino “de ducere” = da condurre), opposto al precedente, consiste nel partire dall'universale per scendere nel particolare.

2.10 METODO INDUTTIVO

Scendendo un poco nei dettagli del metodo induttivo (dal particolare all'universale), si può dire che la fase induttiva prevede dapprima una fase di osservazione di un certo fenomeno fisico.

Segue la fase sperimentale, nella quale l'osservatore cerca di ridurre al minimo la perturbazione del fenomeno durante le misurazioni,.

Segue la fase di correlazione delle misure e dei dati raccolti, e la creazione di un modello ideale del fenomeno da tradurre in una formulazione matematica.

A questo punto, secondo il metodo induttivo, vi sono tutti gli elementi per formulare una generalizzazione: La teoria del fenomeno fisico in esame.

Il problema del metodo induttivo è che le leggi che esso consente di

formulare non possono essere ritenute universali. Al riguardo, è famoso l'esempio portato dal filosofo Bertrand Russell (1872–1970) del tacchino americano. Anche questo tacchino, disse RUSSELL, può prevedere che domani verrà nutrito, come è successo in tutti i giorni precedenti. Ma se domani è il giorno del Ringraziamento, sarà lui ad essere mangiato.

Insomma, una sequenza di singoli casi non è in grado di condurre ad una legge universale.

2.11 METODO DEDUTTIVO

Il metodo deduttivo (dal generale al particolare), invece, parte dall'idea Aristotelica secondo la quale il particolare è implicito nel generale, per cui il particolare può essere “de-dotto” attraverso concatenazioni logiche, o sillogismi. Il problema del metodo deduttivo, è che presuppone che siano note a priori delle verità incontestabili.

2.12 METODO SCIENTIFICO O METODO SPERIMENTALE

È opinione largamente condivisa che l'idea fondante del metodo scientifico sia quella di utilizzare, in fasi distinte, dapprima il metodo induttivo e poi quello deduttivo. L'idea di base è che la teoria non possa essere costruita alla fine del procedimento, bensì all'inizio, secondo il metodo Aristotelico-deduttivo.

Ma mentre la filosofia Aristotelica si fondava su assiomi che erano espressioni di intuizioni fantasiose, gli assiomi adottati dalla Comunità Scientifica traggono origine da serie di esperimenti sistematici, tipici del metodo induttivo, ma dai quali, con un salto di immaginazione, si intuisce la “regola generale” che governa il fenomeno.

Alla base di una teoria relativa ad una categoria di fenomeni naturali, vi è una intuizione espressa come una proposizione, non

dimostrabile ma ritenuta di valenza generale, ovvero un assioma, in grado di formare il punto di partenza della teoria.

Sulla base di questa teoria, bisogna prevedere quali eventi (casi particolari) essa comporti. Poi si realizzano verifiche sperimentali, producendo nella realtà questi eventi. Se gli eventi sono in accordo con la teoria, essa **non è considerata confermata** ma solo “non smentita”, per cui si può continuare ad accettala.

Secondo questo metodo, qualunque principio naturale o teoria o teorema che ne discenda, non sarà mai definitivo. Una volta formulato l'assioma a fondamento della la teoria, la Comunità Scientifica resta in attesa di eventuali altri esperimenti che diano risultati diversi o che vengano con esso in contraddizione. È sufficiente che se ne verifichi anche soltanto uno del genere, purché debitamente documentato ed accettato, perché la teoria sia da ritenere errata.

Al riguardo, come già detto, è famosa la seguente frase attribuita ad Albert Einstein (1879-1955) da lui riportata in una lettera indirizzata al fisico Max Born (1882-1970) il 4 dicembre 1926: *“Nessuna quantità di esperimenti potrà dimostrare che ho ragione; un unico esperimento potrà dimostrare che ho sbagliato”*.

In sintesi, l'esperienza non serve a confermare una teoria, bensì solo a demolirla. In ciò consiste il rigore del “Metodo Scientifico”.

Secondo il filosofo ed epistemologo Karl Raimund Popper (1902–1994), per distinguere ciò che è scientifico da ciò che non lo è, è necessario adottare il criterio di “falsificabilità”. Solo se una teoria è falsificabile è scientifica. Viceversa, tutto ciò che non è falsificabile non è scientifico.

Secondo POPPER, il metodo induttivo è assolutamente inidoneo a confermare una teoria, perché occorrerebbero infiniti esempi sperimentali di conferma. Quindi, qualsiasi teoria deve essere

derivata con il metodo deduttivo (dal generale al particolare) ed è sempre da considerare come una congettura.

Nel momento in cui un esperimento si dimostra in contrasto con la pertinente teoria, si rende necessario l'intervento di sperimentatori indipendenti per ripetere tale esperimento. Se anche tali sperimentatori vengono a confermare la violazione, allora non di rado si ricorre alla ideazione di un esperimento esemplare, chiamato, con termine latino, “*experimentum crucis*” (esperimento cruciale).

Se, a seguito di tutte queste verifiche, si accerta che i nuovi esperimenti contraddicono veramente la teoria corrente relativa al fenomeno fisico in osservazione, allora si rende necessario provvedere a modificare la teoria stessa. La nuova versione della teoria, deve essere coerente sia con i vecchi che i nuovi esperimenti.

Una severa critica al Metodo Scientifico è stata formulata dal filosofo austriaco Paul Feyerabend (1924–1994). Nel saggio “*Against method*”, pubblicato nel 1975, Feyerabend sostiene che qualunque tentativo di costruire schemi per definire rigorosamente i processi di ricerca e scoperta, non può che fallire a causa della natura stessa del percorso mentale che porta ad una scoperta, il quale non può essere limitato da alcuno schema.

Secondo Feyerabend, esiste una sola regola per conseguire progressi della Scienza: Non farsi condizionare dalle regole, scegliere la metodologia di ricerca con assoluta libertà e abbandonare l'idea che le nuove teorie debbano coniugarsi in qualche modo con le teorie correnti.

Ciò che sarebbe da evitare, secondo Feyerabend, è che una teoria si trasformi in ideologia, con il rischio che le osservazioni relative ad essa vengano selezionate in modo da confermare sempre la teoria stessa.

Risulta che il saggio di Feyerabend fu accolto con molta ostilità, sia

per le idee estreme presentate che per l'uso del principio Aristotelico del terzo escluso (*tertium non datur*). Tra poco sarà chiaro il motivo che mi fa ritenere molto interessante quest'ultima critica rivolta al saggio di Feyerabend.

Tornando a considerare i concetti sopra citati, relativi al Metodo Scientifico, essi hanno portato all'enunciazione di una varietà di “principi fisici” o assiomi della fisica. Facciamo qualche esempio.

I tre principi della dinamica in meccanica classica (inerzia, legge fondamentale della dinamica, principio di azione e reazione); la legge di gravitazione; le leggi di Keplero sulle orbite dei pianeti; il modello Standard per le particelle materiali elementari e il relativo principio di equivalenza; la teoria dinamica del calore; il principio di conservazione dell'energia; il primo principio della termodinamica; il secondo principio della termodinamica; il terzo principio della termodinamica, eccetera.

Per riassumere, il Metodo Scientifico consiste nella enunciazione di un assioma, che viene posto all'origine di una teoria relativa ad un certo fenomeno naturale. L'origine dell'assioma non ha alcuna importanza; ciò che è essenziale è che esso sia falsificabile tramite esperimenti.

Una logica conseguenza di ciò, è che nessun principio fisico, o assioma, può essere derivato matematicamente. Una teoria che fosse basata su un assioma derivato con metodi matematici, non potrebbe avere alcuna legittimazione nell'ambito del Metodo Scientifico.

Infatti un assioma del genere non potrebbe essere falsificato da nessun esperimento e la teoria da esso dipendente diventerebbe una verità immutabile.

In vista dei ragionamenti che verranno fatti nel seguito, conviene subito esplicitare due altre osservazioni, anche se sembrano ovvie.

La prima, è che il Metodo Scientifico riguarda esclusivamente

fenomeni naturali e mai un qualunque tipo di macchina; delle macchine si occupano gli ingegneri, non certo per formulare nuove teorie fisiche, ma solo in applicazione di queste.

La seconda osservazione, conseguenza del secondo presupposto del Metodo Scientifico (I fenomeni naturali sono determinati da cause identificabili), è che un assioma deve avere valenza nel suo campo di origine. Se, ad esempio, l'intuizione porta ad enunciare il secondo principio della meccanica classica, nel momento in cui si scopre che esiste una meccanica quantistica, non bisogna aprioristicamente ritenere che quel principio debba continuare a valere anche al livello microscopico, ma è necessario verificarlo sperimentalmente.

Vedremo se queste ultime osservazioni trovino riscontro, o meno, nel Secondo Principio della Termodinamica.

2.13 EXPERIMENTUM CRUCIS

Come si è accennato in precedenza, nel momento in cui un esperimento scientifico, relativo ad un certo fenomeno fisico, dimostri che la pertinente teoria, condivisa dalla Comunità Scientifica, è violata, si rende necessario verificare se detto esperimento sia ripetibile. Si può anche verificare il caso che vi sia più di una teoria per spiegare alcuni fenomeni naturali, e che in determinate circostanze dette teorie prevedano risultati diversi.

In questi casi, si è fatto ricorso ad esperimenti progettati in modo tale da dirimere la questione in modo definitivo.

Se, ad esempio, vi sono due teorie relative ad un certo fenomeno, e si deve decidere quale di essa debba essere abbandonata, si deve cercare di ideare il più semplice esperimento che sia in grado di consentire questa scelta “cruciale”.

Nella storia della fisica si sono verificate più volte situazioni del genere, che sono state risolte tramite l'individuazione di un

“experimentum crucis” (esperimento cruciale).

Uno dei primi casi noti, è quello dell'experimentum crucis proposto ed attuato da Isaac Newton (1642–1727) relativo alla natura della luce. In una comunicazione inviata, nel 1672, alla Royal Society, NEWTON descriveva un esperimento che dimostrava che la luce bianca era composta da un insieme di raggi aventi, ciascuno, diversi colori.

L'origine dei colori era stata indagata da molti “filosofi”. Alcuni ritenevano che il colore della luce fosse acquisito a seguito della riflessione o della rifrazione. NEWTON, al contrario, tramite il suo esperimento con i prismi, dimostrò che la luce bianca del sole conteneva tutti i colori.

Un primo prisma scomponeva la luce bianca nei suoi diversi colori, e un secondo prisma li ricomponeva, dando luogo nuovamente a luce bianca.

Un altro experimentum crucis fu quello noto sotto il nome dei due scienziati che lo realizzarono: il fisico Michelson Albert Abraham (1852-1931) e il fisico Morley Williams Edward (1838–1923).

Nell'800, si riteneva che le onde luminose si propagassero grazie alla presenza di un mezzo, chiamato Etere Luminifero: Una sostanza invisibile. Secondo tale teoria, ogni corpo in movimento nello spazio avrebbe dovuto generare un “vento d'etere” avente la stessa velocità del corpo.

Per verificare l'esistenza del vento d'etere, MICHELSON decise di misurare la velocità della luce in varie direzioni per mezzo di un interferometro di sua ideazione. Nel seguito, grazie all'intervento di MORLEY, la precisione dello strumento fu aumentata.

L'idea alla base dell'esperimento era quella che se l'Etere fosse esistito, la velocità della luce sarebbe stata influenzata dal moto di rivoluzione della terra attorno al sole. Pertanto, girando l'intero

interferometro in diverse direzioni, si sarebbero dovute riscontrare velocità leggermente diverse a seconda della direzione.

Come è noto, la Comunità Scientifica ritiene che l'esperimento di MICHELSON-MORLEY non mise in evidenza differenze della velocità della luce a seconda della direzione considerata.

2.14 IL PRINCIPIO LOGICO DEL TERZO ESCLUSO E LA DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO

Come si più volte accennato, la dimostrazione per assurdo è stata utilizzata da tutti i fondatori della teoria termodinamica in relazione al Secondo Principio della Termodinamica. Essa fu inizialmente utilizzata da CARNOT, seguito da CLAPEYRON, poi da KELVIN, CLAUSIUS e infine da tutti gli altri in forme e con assiomi diversi.

La struttura formale di questo tipo di dimostrazione è basata su tre successivi passi: Una tesi da dimostrare, una ipotesi e infine un ragionamento logico che, sulla base di un assioma, dimostri la tesi.

La particolarità della dimostrazione per assurdo, rispetto ad altri tipi di dimostrazioni, consiste nel fatto che, una volta stabilita la tesi da dimostrare, l'ipotesi viene scelta come l'opposto della tesi stessa. Il ragionamento, inoltre, tende ad evidenziare il fatto che se l'ipotesi fosse vera, ne deriverebbe una contraddizione.

Seguiamo l'esempio della dimostrazione del teorema di Carnot che viene di solito presentata:

TESI: Il ciclo di Carnot realizza il massimo rendimento tra due temperature di funzionamento.

IPOTESI: Esiste un altro ciclo reversibile che ha rendimento **maggiore** tra le stesse temperature.

DIMOSTRAZIONE: Se l'ipotesi fosse vera, accoppiando questi due cicli uno opposto all'altro, si potrebbe trasferire il calore da un corpo freddo ad uno caldo, senza alcuna compensazione.

Questo, però, è impossibile, poiché se si verificasse, sarebbe in contrasto con tutti i comportamenti che il calore mostra in **Natura**. L'ipotesi, pertanto, deve essere falsa.

Se l'ipotesi è falsa, allora la Tesi, che è l'opposto dell'Ipotesi, deve essere vera in applicazione del Principio Aristotelico del Terzo Escluso (o “Tertium non Datur”), poiché un terzo caso, diverso da tesi e ipotesi non esiste.

Bisogna notare che la dimostrazione per assurdo ha una soddisfacente utilizzazione nell'ambito della logica matematica classica. Nel secolo XIX, quando i pionieri della termodinamica la utilizzavano, la dimostrazione per assurdo non incontrava opposizione da parte di nessun matematico.

Con l'inizio del successivo secolo, la situazione cominciò a mutare. Già nel 1910, il filosofo britannico Bertrand Russell (1872-1970) nella sua opera “*Principia Mathematica*” metteva in evidenza il fatto che l'accettazione di metodi di prova che facciano derivare la tesi dell'assunzione come ipotesi della sua negazione e dalla derivazione da questa di una erronea conclusione, discende dalla accettazione del principio Aristotelico del terzo escluso principio (tertium non datur). Datemi una contraddizione, e io vi dimostrerò qualunque cosa, diceva infatti RUSSELL.

Scuole di matematici e di logici, come gli Intuizionisti e Finitisti, cominciarono a contestare la validità di questo metodo di ragionamento logico. La critica degli Intuizionisti era di alto livello, poiché essi riuscirono a dimostrare che era possibile fondare una nuova matematica del tutto priva del principio del terzo escluso.

Il fondatore di questa scuola, il matematico e filosofo olandese Luitzen Egbertus Jan Brouwer (1881-1966), con il seguito di altri autorevoli matematici, mise a punto un insieme di assiomi atti ad essere utilizzati a fondamento di questa nuova matematica

costruttiva. Il principio del terzo escluso fu sostituito con il più debole principio “ex absurdo quodlibet”, cioè dall'assurdo qualsiasi cosa, che era stato enunciato dal filosofo medioevale Duns Scoto (1265-1308).

Risulta che BROUWER, forse a causa delle difficoltà della vita, non riuscì ad essere prolifico nel divulgare le idee del suo Programma. Negli anni dal 1946 fino al 1951, BROUWER diede soltanto una serie di letture sull'intuizionismo presso l'Università di Cambridge, la quale le pubblicò soltanto nel 1981.

Con l'uso del nuovo insieme di assiomi, gli Intuizionisti cominciarono a cercare la dimostrazione di noti teoremi con i nuovi metodi da essi proposti.

L'allievo di BROUWER, Arend Heyting (1898–1980), nel suo libro “*Intuitionism; an Introduction*” (1956), mette in evidenza il fatto che il principio di SCOTO non consente di utilizzare acriticamente la dimostrazione per assurdo. Occorre, infatti, osservare che quel tipo di dimostrazione non porta alla affermazione della tesi, ma solo alla negazione dell'ipotesi, cioè, solo alla negazione della negazione della tesi.

Il motivo per cui in matematica classica questa doppia negazione è accettata, risiede nel fatto che nella logica classica due negazioni successive di una stessa proposizione equivalgono sempre all'affermazione della proposizione stessa.

La caratteristica fondamentale della scuola intuizionista sta nel fatto che essi attribuiscono valore a tutto ciò che può essere costruito mentalmente.

Sarebbe interessante riportare qui un ampio stralcio del libro “*Intuitionism; an Introduction*” di HEYTING, precisamente quello del primo capitolo “DISPUTATION”, da pagina 1 a pagina 3.

La versione tradotta in Italiano da Alberto Cozzi, si trova invece al

seguinte sito web:

www.cs.unibo.it/corsi/FolderDidattica/Dispense_on_line/Heyting.pdf

Un'anteprima della terza edizione rivisitata nel 1971 è consultabile, gratuitamente, nella sezione “books” di Google.

Il libro di HEYTING è scritto sotto forma di dialogo tra ipotetici personaggi che svolgono il ruolo di matematici classici (CLASS.), intuizionisti (INT.), formalisti, pragmatici etc. In questa sede, ci limitiamo a riassumere alcuni concetti espressi da HEYTING.

Secondo CLASS., che usa il principio del terzo escluso, non è importante calcolare esattamente un certo numero L , poiché egli è sicuro che in ogni caso L sarà un numero definito. Invece, dice INT., in matematica è necessaria la costruttività e il principio del terzo escluso non esaurisce sempre l'esame di tutte le possibilità, pertanto non può essere adottato.

Se l'insieme dei casi possibili è infinito, l'impossibilità di esaminare tutti i casi determina l'impossibilità di essere certi che l'applicazione del principio del terzo escluso lasci inesplorato qualche caso.

Si può riassumere la mentalità intuizionista, dicendo che essi rifiutano il concetto di infinito tout-court, perché non consente la costruttività che essi cercano. Gli Intuizionisti rifiutano il principio del terzo escluso, perché non ritengono che l'esistenza di una entità matematica si possa provare dall'assurdità del suo opposto.

Questa mentalità avrebbe dovuto essere molto interessante per i fisici, ovvero, coloro che sono continuamente alla ricerca di Metodi Matematici da utilizzare in fisica. Sembra logico che una matematica costruttiva, come quella intuizionista, debba trovare collocazione in una Scienza che dichiara di basarsi sul concetto Galileiano della prova sperimentale (assimilabile al concetto di costruttività, o di concretezza).

Non fu così, e sono ormai più di cento anni che l'invito alla costruttività resta inascoltato dalla maggior parte dei fisici che si occupano di fenomeni termodinamici.

Nel Secondo Principio della Termodinamica, la logica (Classica) Aristotelica è entrata doppiamente in vigore, sia per il contenuto dogmatico dei suoi assiomi, sia per l'uso del principio del terzo escluso.

Come tutti gli innovatori, gli Intuizionisti sono stati oggetto di generale disinteresse. Ciò non toglie che le loro idee dovrebbero essere attentamente considerate in fisica, poiché sembra che l'estensione della dimostrazione per assurdo alla fisica sia più problematica di quanto essa non lo sia in matematica.

Un atteggiamento molto saggio suggerirebbe che, in presenza di una polemica tra matematici Classici e Intuizionisti, a proposito della attendibilità di questo tipo di dimostrazione, i fisici farebbero meglio a non utilizzarla, tenendo presente il seguente fondamentale concetto intuizionista: Una logica che consenta l'uso del principio del terzo escluso, consente di stabilire che una proposizione A è vera, perché c'è un criterio per stabilire che non è vero l'opposto di A, senza che sia chiaro se A sia vero o falso.

In ogni caso, un punto essenziale che dovrebbe essere considerato, prima di iniziare il percorso logico di una qualunque dimostrazione per assurdo in fisica, è determinare quali e quanti casi esistono nel sistema fisico che si sta considerando.

Il numero dei casi può essere maggiore di due e anche numeroso, ma se il numero dei casi è infinito, il principio del terzo escluso non dovrebbe essere utilizzato.

Se il numero dei casi è finito, bisognerebbe verificare se sia possibile raggrupparli in due distinte categorie, l'una opposta all'altra. Solo se fosse realizzabile questo raggruppamento, dovrebbe

essere consentita l'utilizzazione del principio del terzo escluso. Se tale raggruppamento in due opposte categorie non è possibile (esempio: residuano non due, ma tre categorie), la dimostrazione per assurdo non dovrebbe essere utilizzata, perché non può condurre ad un risultato univoco.

Nel seguito, applicheremo i predetti principi al teorema di Carnot, ottenendo risultati sorprendenti.

CAPITOLO 3

NICOLAS LÉONARD SADI CARNOT: IL PRIMO RAZIONALIZZATORE

3.1 IL FAMOSO RAGIONAMENTO PER ASSURDO DI CARNOT

Come si è accennato, il primo contributo ai tentativi di razionalizzare la teoria delle macchine termiche fu dato da Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832). Laureatosi nella École Polytechnique, divenne un ufficiale del Genio militare. Nel 1828, a soli 32 anni, si ritirò dalla carriera per dedicarsi completamente allo studio del calore, ed in particolare alla ricerca di un metodo generale per rendere massima l'efficienza delle macchine termiche.

Già prima, nel 1824, CARNOT aveva fatto pubblicare da una libreria di Parigi (Bachelier Librairie), il già citato libretto di circa 100 pagine, intitolato:

“Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres a Développer cette Puissance”.

È molto facile reperire in rete questa pubblicazione in lingua originale Francese.

Una traduzione in Inglese di questa pubblicazione, completa di note biografiche, si trova al seguente indirizzo di rete:

<https://www3.nd.edu-powers/ame.20231/carnot1897.pdf>

La necessità di analizzare il contenuto di questa pubblicazione, risiede nel fatto che le idee innovative espresse da CARNOT hanno profondamente influenzato il pensiero dei teorici che vennero dopo di lui, indicando loro, tuttavia, una “scorciatoia” rispetto ai metodi matematici che sarebbe stato necessario utilizzare per sviluppare una corretta teoria termodinamica.

I veri forgiatori della moderna teoria termodinamica, seguirono, purtroppo, la scorciatoia indicata dal libretto di CARNOT, interpretando a modo loro il suo pensiero, nel tentativo di trasferire, nella nuova teoria dinamica del calore, i concetti espressi da CARNOT, che però avevano senso solo nella vecchia teoria del Calorico.

Esaminando il lavoro di CARNOT, ci accorgiamo di avere a che fare con uno studioso che non era interessato esclusivamente al miglioramento ingegneristico delle macchine. CARNOT traeva le sue mosse partendo sempre dall'esperienza sulle macchine termiche, ma aveva una mentalità speculativa che lo portava a generalizzare.

CARNOT si rendeva conto, infatti, dell'enorme vantaggio che l'Inghilterra stava ricevendo dai progressi conseguiti nel perfezionamento delle macchine termiche, ma constatava che la materia non era trattata in termini sufficientemente generali, e concludeva che un vero progresso tecnologico non si sarebbe potuto raggiungere, se non si introducevano dei criteri generali di progetto che fossero indipendenti dai fluidi usati, ed equazioni analoghe a quelle che, nella meccanica, consentivano di predire il moto dei corpi.

CARNOT, tuttavia, nel suo libretto non riuscì a mettere in pratica questi ottimi intendimenti, non avendo utilizzato nessuna matematica per sviluppare i suoi ragionamenti.

Quello che segue è un riassunto del geniale ragionamento logico usato da CARNOT per determinare le condizioni di massimo rendimento di una macchina termica, secondo la teoria del Calorico.

1) CARNOT fornisce una dimostrazione di straordinaria semplicità della seguente proposizione: “Il massimo rendimento ottenibile da una macchina termica non dipende dalla natura del mezzo fluido impiegato nella stessa”.

2) In una seconda fase del suo ragionamento, CARNOT fornisce criteri per giudicare fino a che punto questo massimo rendimento possa essere raggiunto.

Per ottenere il primo risultato, CARNOT concepisce una nuova brillante idea: Un esperimento ideale.

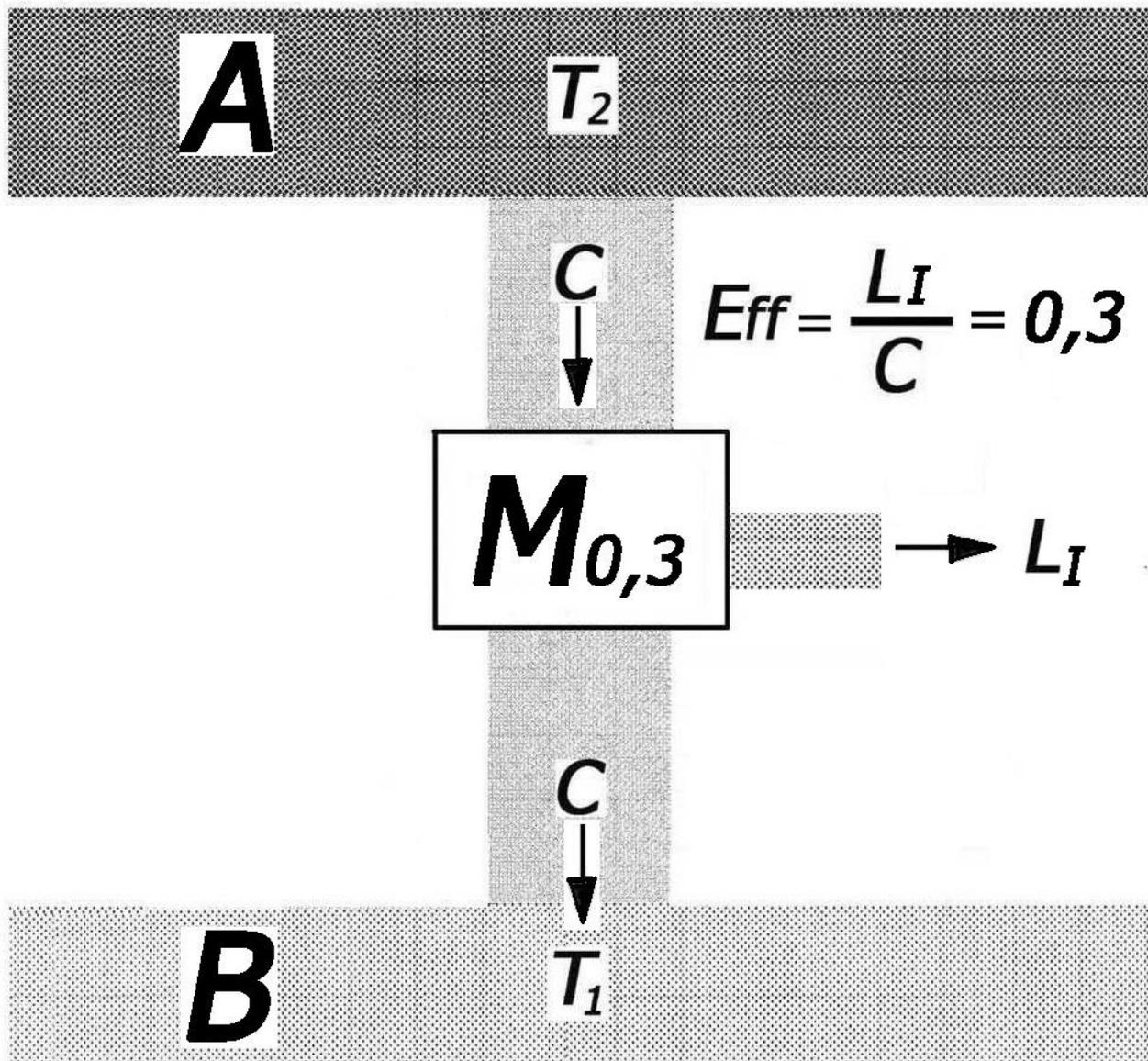


Fig. 3.1

Egli “immagina” che una macchina termica a vapor d'acqua lavori tra due corpi, ad esempio un corpo A alla temperatura maggiore T_2 , ed un altro corpo B a temperatura inferiore T_1 , come nella precedente Figura 3.1.

In una prima fase del ragionamento, CARNOT suppone che tale macchina esegua l'operazione di far fluire una certa quantità di calorico C dalla sorgente più calda a quella fredda (restando tale quantità inalterata, in quanto il Calorico è ritenuto indistruttibile), con ciò producendo la potenza motrice L_I .

Come si vede dalla Figura 3.1, la quantità di Calorico C non subisce

variazione nel passare dal corpo caldo A al corpo freddo B , per il tramite della macchina a vapore $M_{0,3}$. Questo passaggio di Calorico, attraverso la macchina $M_{0,3}$ produce una quantità di lavoro L_I .

Facendo il rapporto tra L_I e C , si ottiene il rendimento di conversione Eff , che nell'esempio è posto, ipoteticamente, a 0,3, o al 30%.

In una seconda fase del ragionamento, CARNOT immagina di poter eseguire questa operazione al contrario, in modo da invertire esattamente lo spostamento di Calorico ed il segno della potenza motrice prodotta. Questo significa che la macchina a vapore $M_{0,3}$ dovrebbe funzionare al contrario (macchine frigorifera), e quindi assorbire potenza motrice invece di produrla (vedi Figura 3.2 seguente).

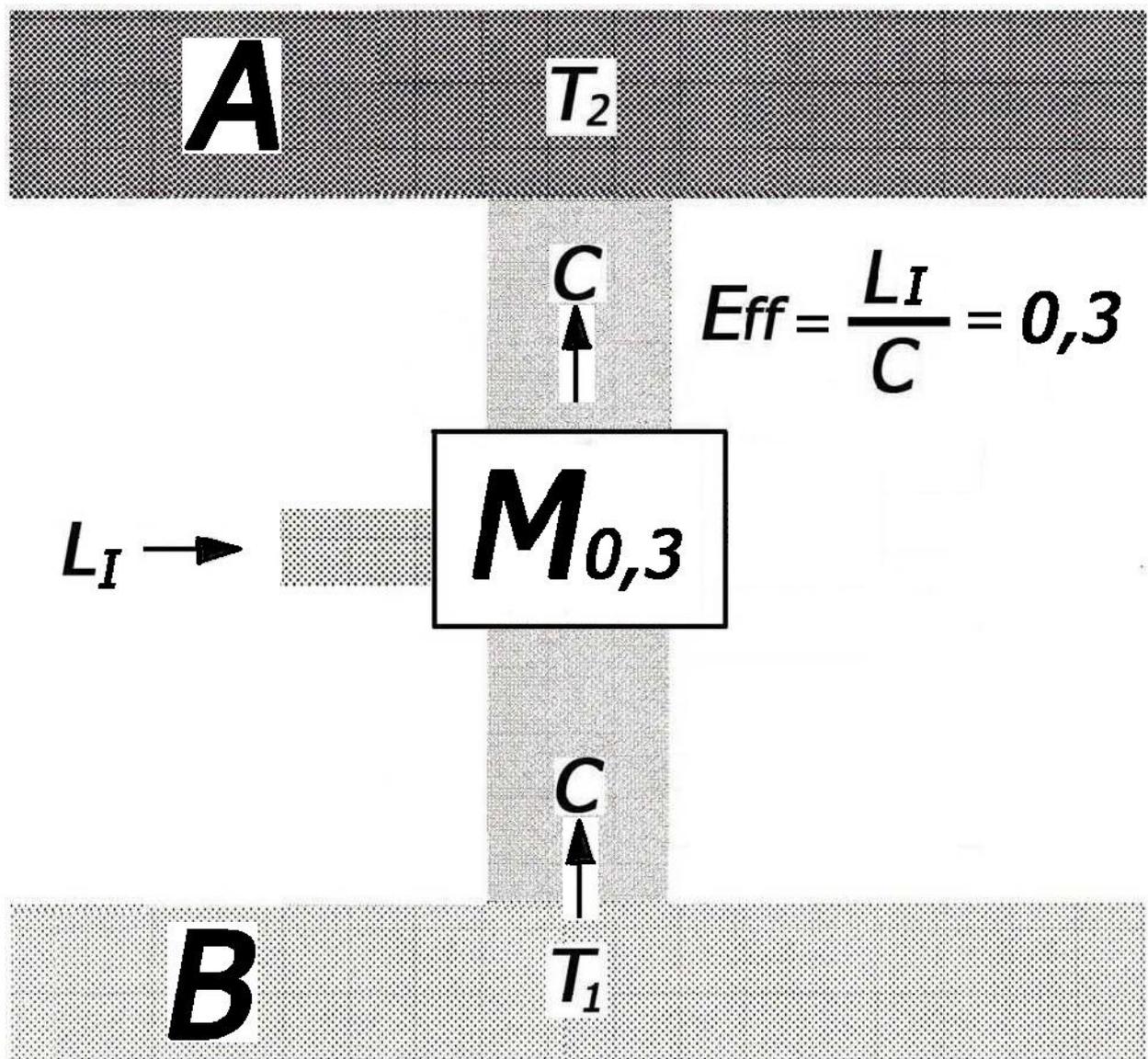


Fig. 3.2

CARNOT deduce che una qualunque sequenza di queste operazioni con la macchina a vapore non potrebbe produrre nessun eccesso di forza motrice e neppure di calorico.

CARNOT giunge infine al suo ragionamento cruciale, fonte di infinite controversie, che in sostanza esprime i seguenti concetti:

Se esistesse un altro mezzo, diverso dal vapor d'acqua, tale da far produrre al Calorico una quantità di forza motrice maggiore di quella che la macchina a vapore ha compiuto nella prima fase, potremmo impiegare soltanto una parte di questo lavoro per far funzionare la macchina a vapore invertita (macchina frigorifero), per

cui vi sarebbe un eccesso di forza motrice, e potremmo con essa ricominciare daccapo le operazioni di cui sopra più e più volte. Per cui CARNOT conclude che:

“Questo non sarebbe solo un moto perpetuo, ma una creazione illimitata di potenza motrice senza consumo sia di Calorico che di qualunque altro agente. Una creazione del genere è del tutto contraria alle idee finora accettate, alle leggi della meccanica e alla buona fisica. Essa è inammissibile. Dovremmo quindi concludere che il massimo della potenza motrice risultante dall'impiego del vapore d'acqua sia anche la massima potenza motrice realizzabile con qualsiasi altro mezzo. Daremo subito una seconda e più rigorosa dimostrazione di questa teoria. Questa deve essere considerata solo un'approssimazione.”

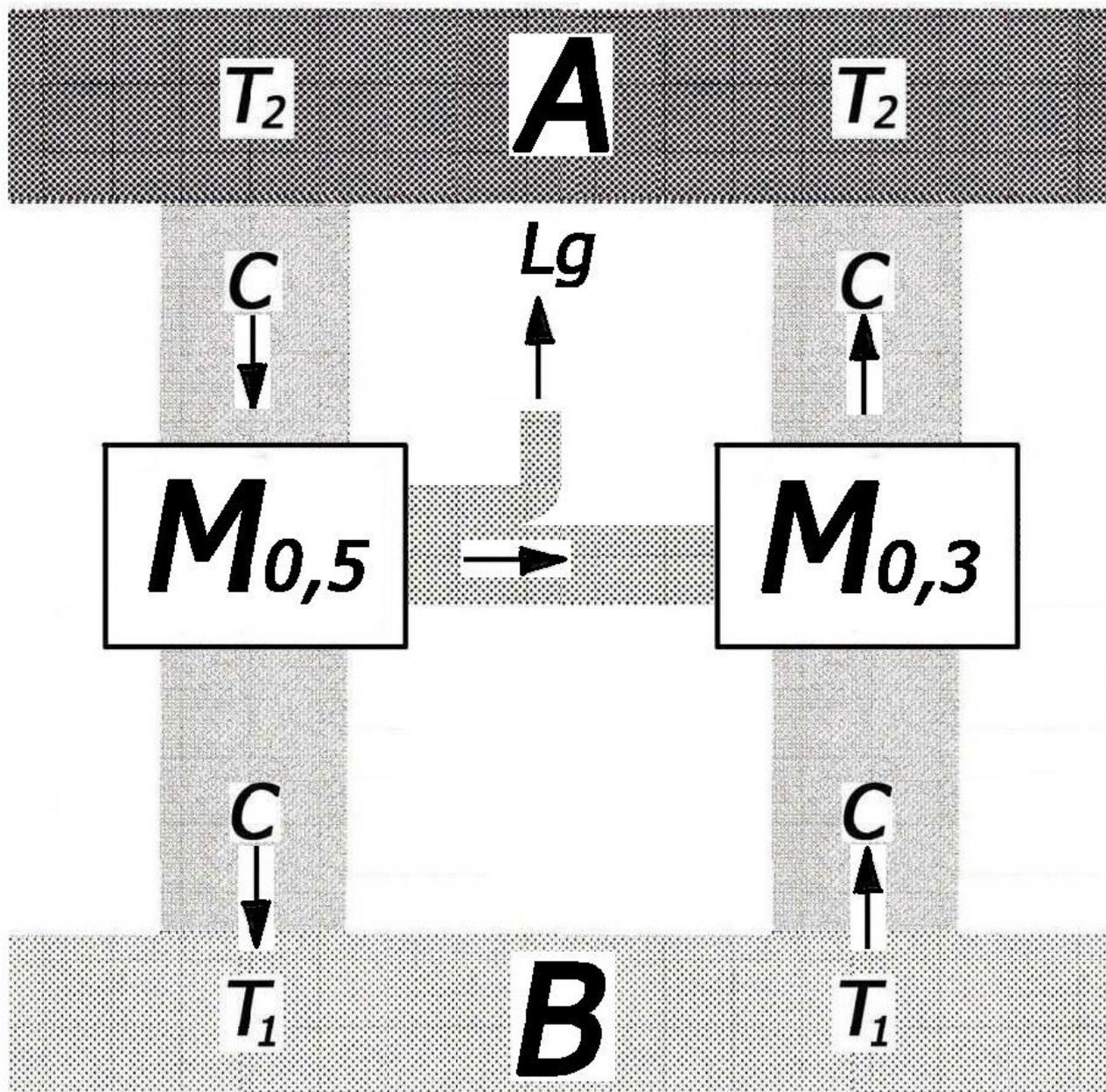


Fig. 3.3

Nella precedente Figura 3.3 è rappresentata la configurazione delle due macchine contrapposte che, nell'ipotesi di CARNOT, fornirebbero energia meccanica senza alcun consumo.

L'ipotetica macchina a vapore $M_{0,5}$, ha un rendimento di 0,5 (maggiore di 0,3, il rendimento della macchina a vapore $M_{0,3}$ usata come frigorifero) e quindi eroga una quantità di lavoro maggiore di quella che serve alla macchina $M_{0,3}$ invertita, la quale compensa esattamente entrambe le quantità di Calorico scambiate dai corpi A e B . Di conseguenza, il lavoro L_g non sarebbe compensato da nulla, e

consisterebbe in una creazione di energia dal nulla.

Pertanto, la conclusione della dimostrazione per assurdo di CARNOT è la seguente: non può esistere alcuna macchina più efficiente della **macchina a vapore**.

3.2 IL CICLO DI CARNOT

La sequenza di operazioni descritta da CARNOT, è stata molto apprezzata dal suo successore: Emile Clapeyron, perché è applicabile a qualunque corpo in qualunque suo stato (gassoso, liquido o anche solido).

Tra l'altro, fu per primo CLAPEYRON a rappresentare in forma grafica le sequenze descritte da CARNOT. La seguente Figura 3.4 è tratta dalla pubblicazione di CLAPEYRON, e consiste in un diagramma cartesiano in cui la pressione è in verticale mentre il volume è in orizzontale.

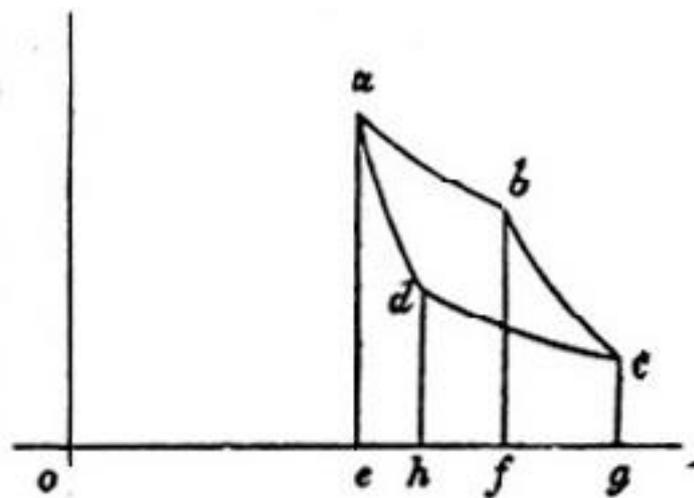


Fig. 3.4

Si può quindi immaginare che un qualunque corpo materiale venga sottoposto a quattro trasformazioni che si ripetono ciclicamente. Dapprima il corpo viene fatto espandere lentamente ponendolo in contatto con una sorgente calda, a una temperatura che chiameremo T_2 (tratto a-b della Figura 3.4 di cui sopra). Durante questa espansione, il corpo produce un lavoro meccanico utile e assorbe

Calorico dalla sorgente calda. Successivamente, viene termicamente isolato in modo perfetto e contemporaneamente fatto ancora espandere lentamente (tratto b-c).

Essendo questa un'altra espansione, il corpo produce altro lavoro meccanico. Con quest'ultimo tipo di espansione, tuttavia, la temperatura del fluido diminuisce e si fa in modo che essa raggiunga la temperatura più fredda del refrigeratore, già chiamata T_1 .

Poi il corpo viene messo in contatto diretto con il refrigeratore e viene compresso lentamente (tratto c-d). In questa fase, il corpo assorbe lavoro meccanico, o lavoro negativo.

Durante questa fase, il corpo mantiene la temperatura del refrigeratore e cede Calorico al refrigeratore stesso. Infine, il corpo viene isolato termicamente in modo perfetto e compresso al punto tale da riacquistare il volume iniziale (tratto d-a). Trattandosi ancora di una compressione, il corpo assorbe altro lavoro meccanico, o lavoro negativo.

Durante questa compressione la sua temperatura risale fino a ritornare uguale al valore iniziale T_2 . Questa è la sequenza che descrive un ciclo di CARNOT.

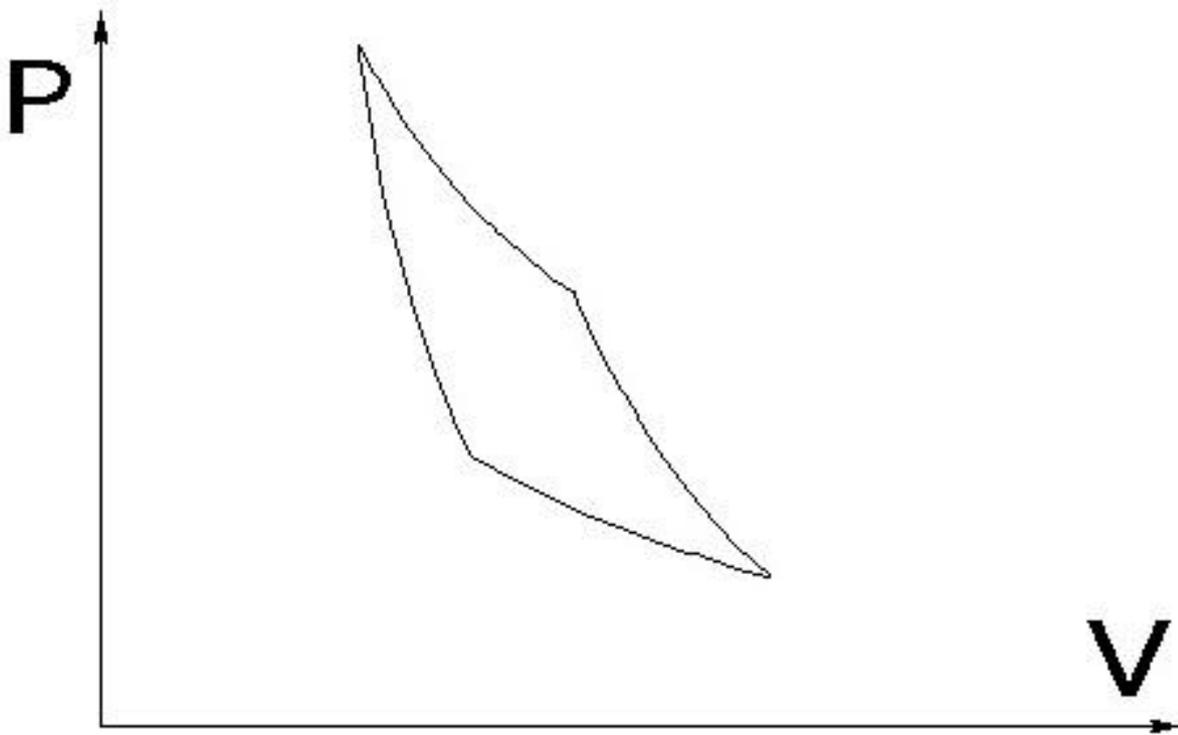


Fig. 3.5

Il lavoro utile complessivamente erogato dal ciclo, è la somma algebrica di tutti i quattro contributi, positivi e negativi, ed è rappresentato, graficamente, dall'area contenuta all'interno del circuito chiuso, come nella figura.

3.3 CONDIZIONI RITENUTE NECESSARIE DA CARNOT PER IL MASSIMO RENDIMENTO

Per quanto riguarda la massima potenza motrice ottenibile, CARNOT osserva che:

“Sarebbe giusto chiedere quale è il senso della parola “massima (potenza motrice – n.d.r.)”... Dato che ogni ristabilimento dell'equilibrio nel calorico può essere causa di potenza motrice, ogni ristabilimento dell'equilibrio che si verifica senza produrre questa potenza dovrebbe essere considerato come una vera perdita. Ora ci vuole poca riflessione per mostrare che ogni cambiamento di temperatura che non è dovuto ad un cambiamento di volume ... può essere niente altro che un improduttivo ristabilimento del calorico.”

Quindi la condizione necessaria per il massimo è che nei corpi impiegati per ottenere potenza motrice, non ci debba essere alcun cambiamento di temperatura che non sia dovuto ad un cambiamento di volume. Viceversa ogni qual volta questa condizione è soddisfatta vi è il massimo.”

Insomma, a CARNOT sembra ovvio che ogni cambiamento di temperatura che non sia dovuto ad un cambiamento di volume rappresenti una perdita, per cui ne deduce che il massimo rendimento si ottiene quando non c'è nessun cambiamento di temperatura che non sia dovuto a un cambiamento di volume, e viceversa.

La sua conclusione finale è che si ha il massimo rendimento quando tutto il Calorico è assorbito alla temperatura più alta e rilasciato tutto alla temperatura più bassa. Questa condizione è soddisfatta dal ciclo che ha preso il suo nome: Il ciclo di CARNOT. Con l'insieme di tali concetti, il ragionamento di CARNOT porta a concludere che il suo ciclo ha il massimo rendimento tra le temperature date.

Facciamo attenzione a quest'ultima riflessione di CARNOT (il “ristabilimento del Calorico” dovuto al fenomeno della conduzione non produce lavoro), perché essa è alla base del concetto di irreversibilità del fenomeno naturale della conduzione di calore, che sarà esplicitato dai suoi successori, nonché degli assiomi che essi enunceranno a partire proprio da questo concetto.

3.4 RIASSUNTO DEI CONCETTI ESPRESSI DA CARNOT

Per riassumere, sono essenzialmente tre i concetti fondamentali contenuti nel libretto di CARNOT:

- 1) Nell'ambito della teoria del Calorico, il massimo rendimento di un ciclo non dipende dal fluido usato come corpo variabile;
- 2) Per raggiungere tale massimo rendimento di un ciclo, si devono

evitare “inutili ristabilimenti del Calorico”;

3) Questo risultato si ottiene quando il ciclo eseguito dal fluido coincide con il ciclo di CARNOT.

Inoltre, CARNOT introduce, per la prima volta nella teoria del calore, l'uso della dimostrazione per assurdo. Se ne rese conto per primo proprio CLAPEYRON, facendolo notare nella sua già citata rielaborazione matematica pubblicata nel 1834. Se consideriamo con attenzione il ragionamento di CARNOT, ci rendiamo conto che si tratta proprio di una dimostrazione matematica per assurdo.

C'è infatti una tesi da dimostrare: La macchina a vapore ha il massimo rendimento. C'è anche una ipotesi: Esiste un mezzo fluido che consente di costruire una macchina con rendimento maggiore di quello della macchina a vapore. La dimostrazione del teorema consiste nel verificare che la tesi conduce alla seguente assurdità: Si potrebbe creare potenza motrice dal nulla, senza alcun consumo. Dunque l'ipotesi è sbagliata e, di conseguenza (tertium non datur), la tesi è dimostrata: La macchina a vapore ha il massimo rendimento.

In secondo luogo, c'è da considerare che CARNOT ragiona in termini di un fluido termico immateriale (il Calorico) che, attraversando una macchina termica, non si consuma mentre passa da una sorgente calda ad una fredda.

Se il Calorico non si consuma, allora c'è una perfetta analogia con le macchine puramente meccaniche, o meglio idrauliche, in cui l'energia non scompare, ma si trasforma in altre forme di energia meccaniche la cui somma uguaglia quella di origine. Si potrebbe ideare una qualsiasi combinazione di macchine puramente meccaniche o idrauliche, ma non si otterrebbe mai, come risultato finale, un lavoro meccanico utile.

Esiste, infatti, il principio fondamentale di conservazione dell'energia, per cui una combinazione di energie puramente

meccaniche, sia pure contrapposte tra loro, non può mai produrre un lavoro meccanico utile: questo lavoro verrebbe dal nulla e ciò è contrario all'esperienza.

Non certo l'esperienza di stralunati inventori, i quali **non** riuscivano a creare una macchina che generasse energia dal nulla, bensì quella di fisici, i quali hanno constatato che questa regola vale per ogni fenomeno naturale **che si verifica**.

Di conseguenza, il ragionamento fatto da CARNOT è sensato e valido proprio in quanto, **nella teoria del Calorico**, l'assurdità dell'ipotesi ha un senso fisico ben preciso e fondato: **L'energia non proviene dal nulla**. Come vedremo tra poco, il ragionamento di CARNOT **non** è inficiato dall'uso della dimostrazione per assurdo, e non trova ostacoli di natura ideologica per la matematica classica, ma questo accade solo perché è confinato nell'ambito della teoria del Calorico. In questa teoria, infatti, il principio Aristotelico del “tertium non datur” è utilizzabile.

In seguito, i successori di CARNOT continueranno ad usare la dimostrazione per assurdo anche nella nuova teoria dinamica del calore, nella quale, invece, la quantità di calore non si conserva. Ne è conseguita una notevole confusione di cui ancor oggi paghiamo le conseguenze.

3.5 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DEL RAGIONAMENTO DI CARNOT

Si è visto che CARNOT giunse a dimostrare che la macchina termica a vapor d'acqua ha il massimo rendimento possibile. Con il senno di poi, sappiamo che nessuna macchina a vapore ha un rendimento teorico superiore a quello del corrispondente ciclo di CARNOT. Potremo limitarci, pertanto, a dare poca importanza a questa evidente assurdità, ritenendola superata dai più importanti lavori dei successori di CARNOT.

È tuttavia utile fare una analisi approfondita della questione.

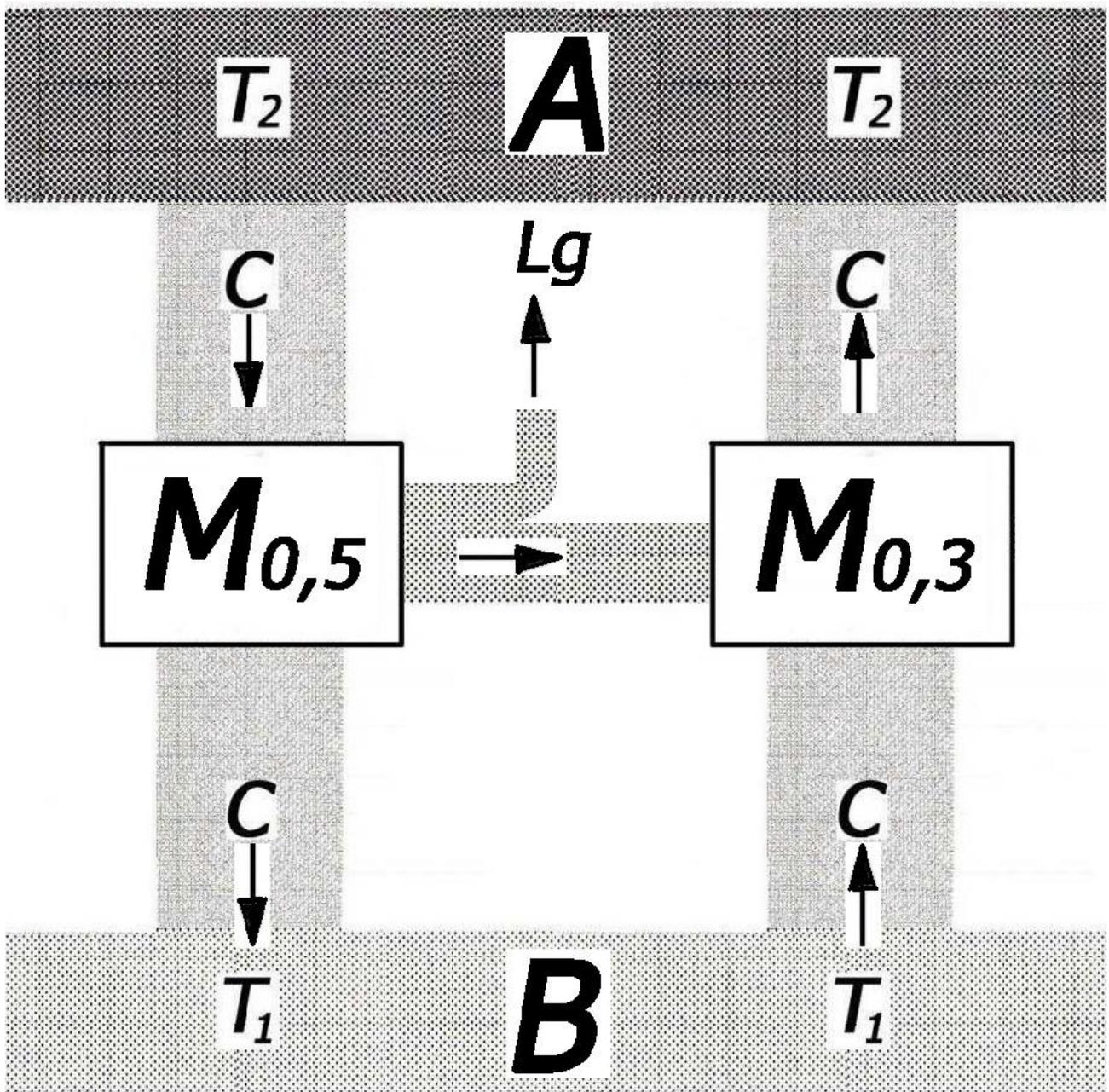
In primo luogo, osserviamo che l'uso della dimostrazione per assurdo ha condotto CARNOT ad enunciare una proposizione sulla macchina a vapore che, a posteriori, si è rivelata falsa. Questo ricorda la già citata frase del filosofo Bertrand Russell: “*Datemi un'assurdità, e vi dimostrerò qualunque cosa*”.

In vista delle analisi critiche dei lavori dei successori di CARNOT, cerchiamo di razionalizzare il suo ragionamento.

Osserviamo che CARNOT è giunto alla conclusione che la macchina a vapor d'acqua debba avere il massimo rendimento, semplicemente perché il suo ragionamento ha preso in considerazione questo tipo di macchina. Se avesse considerato una macchina diversa, avrebbe concluso che il massimo rendimento sarebbe dovuto a quest'altra macchina.

Pertanto, è possibile dare un'interpretazione più generale del ragionamento fatto da CARNOT, rispetto a quella data dai successori: Il problema del teorema di CARNOT non è quello di stabilire se esista un fluido che, impiegato in una macchina termica ciclica (quindi, particolare), possa assicurare un rendimento superiore a quello del vapor d'acqua, ma quello di verificare se l'esistenza di due diverse e contrapposte macchine (in generale, di qualunque tipo) che producano lavoro in assenza di un corrispondente flusso di Calorico, sia compatibile con la teoria del Calorico.

Al riguardo, la precedente Figura 3.3 è illuminante (L_g verrebbe dal nulla), ed è opportuno qui riportarla.



Incidentalmente, notiamo che l'interpretazione del ragionamento di CARNOT data dai suoi successori, che è consistita nel formulare l'ipotesi dell'esistenza di una sostanza capace di produrre il maggior rendimento possibile, ha imposto alla teoria il limite di considerare soltanto macchine cicliche, **le sole dove tale ipotetica sostanza potrebbe operare**, con esclusione delle macchine termiche statiche, nelle quali non c'è alcuna "sostanza" particolare in azione.

Tornando al punto del teorema di CARNOT, vi sono due modi per risolvere questo più generale problema:

- 1) Il metodo sbrigativo dei fisici;
- 2) Il metodo formale dei matematici.

Per i fisici, questo particolare problema è risolvibile senza tanti giri di parole: Niente flusso di Calorico, niente lavoro utile, perché altrimenti tale lavoro provverebbe dal nulla.

Applicando, invece, i metodi formali della matematica, dobbiamo preventivamente verificare se il principio di logica-matematica del terzo escluso sia utilizzabile nel ragionamento di CARNOT.

Per farlo, dobbiamo verificare se tutti i possibili casi siano esattamente individuati.

Il problema è quello di verificare se esista una combinazione di macchine capace di assicurare un lavoro utile senza spostamento di Calorico.

Il primo caso è che una tale combinazione non esista; il secondo è che invece esista.

In definitiva, ci sono solo i due casi sopra individuati e di conseguenza possiamo applicare con sicurezza il principio di contraddizione del terzo escluso.

Per chiarire ancora meglio, e creare un modello di analisi che sarà usato in seguito, formalizziamo la dimostrazione di CARNOT secondo i canoni tradizionali.

La TESI da dimostrare è: Nella teoria del Calorico, non esiste alcuna combinazione di qualunque tipologia di macchine termiche, che sia in grado di produrre lavoro utile senza un complessivo e corrispondente flusso di Calorico.

L'IPOTESI è formulata come l'opposto della tesi: Esiste una combinazione di macchine termiche che produce lavoro utile senza un complessivo flusso di Calorico.

I casi possibili sono solo due: L'ipotesi è vera; l'ipotesi è falsa.

A questo stadio della dimostrazione, però, non possiamo trarre alcuna conclusione. Infatti, non abbiamo alcun criterio di logica-matematica per stabilire se l'ipotesi conduca a una contraddizione. Per trarre una contraddizione, dobbiamo comunque introdurre qualche argomento di natura fisica.

Possiamo, ad esempio, introdurre un argomento che derivi dal Metodo Scientifico che era accettato al tempo di CARNOT. Anche allora si riteneva valido l'assioma della conservazione dell'energia. Introduciamo nella dimostrazione per assurdo, sopra impostata, questo assioma. L'ipotesi che possa esistere un sistema che, senza essere associato ad alcun flusso di Calorico, possa generare lavoro utile, violerebbe l'assioma della conservazione dell'energia.

Ora, finalmente, solo dopo aver introdotto un argomento fisico, possiamo avere la contraddizione che ci serve: L'ipotesi contraddice l'esperienza fisica. L'Ipotesi - uno dei due soli casi possibili - è una assurdità. Resta soltanto l'altro caso, e di conseguenza abbiamo dimostrato la Tesi: Nella teoria del Calorico, non esiste alcuna combinazione di macchine che sia in grado di produrre lavoro utile senza un complessivo flusso di Calorico.

Ecco, dunque, che la più generale tesi del teorema di CARNOT non è inficiata dall'uso della dimostrazione per assurdo, ed è invece inoppugnabilmente dimostrata secondo la matematica e la fisica valide in quel tempo.

Come scrive TRUESDELL:

“Nonostante i suoi studi presso l' École Polytechnique, e nonostante il suo precoce addestramento da parte del padre, che era un valente matematico, CARNOT non seguì la tradizione della meccanica razionale del diciottesimo secolo da lui lodata per la sua generalità e estensione. Invece, la sardonica musa lo indirizza a scrivere in modo che chiunque possa capire. Una ovvia e necessaria condizione

è che nessuna matematica venga usata nel testo principale. Questa condizione non è ancora sufficiente. Tra tutti gli scrittori di filosofia naturale solo CARNOT uguaglia i pre-Socratici nell'abilità di provocare una infinita sequenza di dilemmi, acute e penose ponderazioni, congetture, apparenze, controversie, e ancora dilemmi, che supportano la testimonianza che il risultato non è compreso da nessuno...Nel trattato di CARNOT troviamo quella vacuità che verrà per restare una caratteristica distintiva della termodinamica per sbalorditi visitatori. Egli rivaleggia con HERAKLEITOS l'oscuro.” (The Tragicomical History, p. 80)

3.6 CLAPEYRON PAUL-ÉMILE

Il libretto di CARNOT fu ignorato dalla Comunità Scientifica per circa 10 anni. Questo dato non sorprende più di tanto, se si considera che CARNOT non usò alcuna matematica nel suo trattato. Il merito di averlo portato all'attenzione generale, dopo la morte di CARNOT nel 1824, fu dell'ingegnere minerario e scienziato Clapeyron Benoit-Paul-Émile (1799-1864). Questi, infatti, dopo aver rintracciato l'opera di CARNOT, ne rielaborò i contenuti in forma matematica pubblicando i risultati in una memoria nel 1834.

Questo lavoro di CLAPEYRON, tradotto in lingua Inglese, può essere rintracciato in rete al seguente indirizzo web:

https://en.wikisource.org/wiki/Scientific_Memoirs/1/Memoir_on_the_Motive_Power_of_Heat

Oppure in lingua francese originale al seguente indirizzo web

https://books.google.it/books?id=Igo3AQAAMAAJ&pg=PA153&dq=memoire+sur+la+puissance+motrice+de+la+chaleur&hl=it&sa=X&ved=0ahUKEwiUl_iBnq_NAhVJtBQKHVGyD7U4FBD0AQgsMAI#v=onepage&q=memoire%20sur%20la%20puissance%20motrice%20de%20la%20chaleur&f=true

La rielaborazione di CLAPEYRON in forma matematica del lavoro di CARNOT, era sempre concepita nell'ambito nella teoria del Calorico. Quello che qui interessa rimarcare, è che l'ingegnere minerario CLAPEYRON era molto interessato ai criteri e metodi di calcolo per migliorare il rendimento delle macchine termiche, e non aveva velleità di usare gli argomenti di CARNOT per creare una teoria del calore. Tuttavia egli fu affascinato dagli scritti di CARNOT, dato che fornivano criteri generali, quali l'indipendenza del fluido usato, l'importanza della differenza di temperatura e l'idea di macchine ed esperimenti ideali.

Come si è detto, CLAPEYRON fu il primo a notare che CARNOT aveva usato la dimostrazione per assurdo, e fu così convinto della sua validità che la adottò per sviluppare i suoi teoremi.

Secondo TRUESDELL, CLAPEYRON ha rielaborato il pensiero di CARNOT in modo fedele ma non bene (*The Tragicomical History*). Questa rielaborazione ha avuto comunque il risultato di attirare l'attenzione di alcuni scienziati interessati a sviluppare la teoria del calore. Fu così che i ragionamenti di CARNOT iniziarono a destare un generale interesse e furono oggetto di infinite imitazioni, rielaborazioni, diatribe, critiche, perplessità e mistificazioni di cui ancor oggi paghiamo le conseguenze al livello della Pubblica Educazione.

Così scrive infatti TRUESDELL:

“Infine, confesso di una sincera speranza - molto tenue ma ardua - che anche alcuni termodinamici della vecchia guardia studieranno questo libro, padroneggeranno i contenuti e condivideranno così la mia scoperta: La termodinamica non è mai stata la Triste Palude dell'Oscurità che dapprima fu ed ancor oggi è nell'Istruzione comune; di conseguenza, non è necessario che così rimanga.” (*The Tragicomical History, The Producer's Apology to the Spectators*, p. 6).

CAPITOLO 4

LA CRISI DELLA TEORIA DEL CALORICO E IL CONSEQUENTE SVILUPPO DELLA TEORIA DINAMICA DEL CALORE

4.1 PREMESSA

L'idea che la teoria del Calorico fosse errata serpeggiava tra gli studiosi già verso la fine del '700, ed anche CARNOT ne era consapevole, ma la teoria del Calorico entrò veramente in crisi a seguito di esperimenti eseguiti da vari studiosi e ricercatori.

Il fisico americano Benjamin Thompson, alias conte Rumford (1753–1814) notò un fenomeno fisico che poneva in dubbio la teoria del Calorico. Furono le sue osservazioni sul calore generato durante la tornitura dei cannoni, nel 1798, a porgli questo dubbio.

Il chimico inglese Humphry Davy (1778–1829) realizzò un esperimento che consisteva nella fusione di due pezzi di ghiaccio tramite il reciproco strofinio. Al termine, nel 1799, DAVY concludeva che gli esperimenti dimostravano l'inesistenza del Calorico.

Seguono gli scritti del medico Julius Robert von Mayer (1814–1878), il quale, con la memoria “*Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur*” (1842), si assicura la priorità della scoperta della connessione esistente tra la forza di caduta, il movimento e il calore.

Mayer stabilisce la prima formulazione teorica del principio di equivalenza tra lavoro meccanico e calore. Nel 1845, Mayer pubblica “*Die organishe Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel*”, nel quale formula ciò che può essere definito il suo equivalente meccanico della caloria. Tuttavia, a causa della sua scarsa formulazione matematica, Mayer non riesce a farsi attribuire ufficialmente questa priorità.

4.2 IL CONCETTO DI “CALORE” SECONDO LA TEORIA DINAMICA DEL CALORE ATTUALMENTE CONDIVISA

Per una migliore comprensione di quanto segue, è utile premettere che, secondo la teoria del calore attualmente condivisa, il calore non è un'entità che può essere posseduta da un corpo. Il calore è inteso, invece, come energia termica in transito da un corpo all'altro. Vedremo in seguito se le conseguenze di quanto andremo a dimostrare consentiranno di modificare questo significato.

4.3 L'EXPERIMENTUM CRUCIS DI JOULE E LE BASI SPERIMENTALI DEL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Nella cronistoria, segue uno studioso inglese autodidatta: James Prescott Joule (1818-1889). Come attività principale, Joule svolgeva il ruolo di amministratore di una fabbrica di birra ereditata dal padre. Ma la sua passione era la Scienza, in particolare la fisica, la chimica, lo studio del calore e dell'elettricità. JOULE fu un vero scienziato per passione, che si dedicò a misurazioni sempre più precise dei fenomeni che gli interessavano. Fu questa sua particolare abilità di sperimentatore, più che le sue conoscenze di matematica, a farlo ritenere il vero scopritore del primo principio della termodinamica o principio di equivalenza tra lavoro e calore.

Come abbiamo visto, la teoria del Calorico prevedeva l'esistenza di un fluido non-materiale (o fluido sottile) non consumabile: L'entità del Calorico si doveva conservare mentre esso fluiva e, di conseguenza, il Calorico non poteva essere neppure generato. Si riteneva che, nel fluire attraverso una macchina, il Calorico potesse produrre lavoro meccanico senza restare diminuito in quantità.

JOULE riuscì dapprima a dimostrare, tramite appositi esperimenti, che l'energia elettrica poteva creare calore e riscaldare il fluido contenuto in un termostato. In seguito, JOULE riuscì a costruire un

primordiale motore elettrico con il quale riuscì a stabilire un fattore di equivalenza tra calore e lavoro. Risulta che egli annunciò tali risultati in una conferenza indetta dalla *British Association for the Advancement of Science* nel 1843, ma la sua relazione non fu presa in considerazione.

Per nulla scoraggiato, JOULE cercò di dimostrare l'equivalenza tra lavoro e calore tramite esperimenti puramente meccanici.

Nonostante le evidenze sperimentali poste in evidenza da JOULE, la Comunità Scientifica del suo tempo non volle subito riconoscere che la teoria del Calorico, allora in auge, doveva essere abbandonata.

Fu respinta anche la pubblicazione di una memoria di JOULE letta nel 1844 presso la Royal Society, ed egli riuscì a farla pubblicare, nel 1845, dal *Philosophical Magazine* con il titolo:

“On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power” (In the letter to the Editors of the *Philosophical Magazine*, series 3, vol. xxvii, p. 205, 1845), rintracciabile al seguente link:

<https://www.chemteam.info/Chem-History/Joule-Heat-1845.html>

È proprio in questa lettera che JOULE rende noto di aver raggiunto l'obiettivo di dimostrare l'equivalenza Lavoro/Calore con l'ormai famoso esperimento del mulinello a pale rotanti; un esperimento semplice ma decisivo per dirimere la questione: Un vero e proprio Experimentum Crucis.

Il suo apparecchio era costituito da un mulinello in contatto con un termostato. Come ammette lo stesso JOULE nella nota in calce alla citata lettera al *Philosophical Magazine*, il suo mulinello (vedi la Figura 4.1 seguente) è un perfezionamento del mulinello usato da Rennie nel 1831 (*Phil. Trans.* 1831, plate xi, fig, 1).

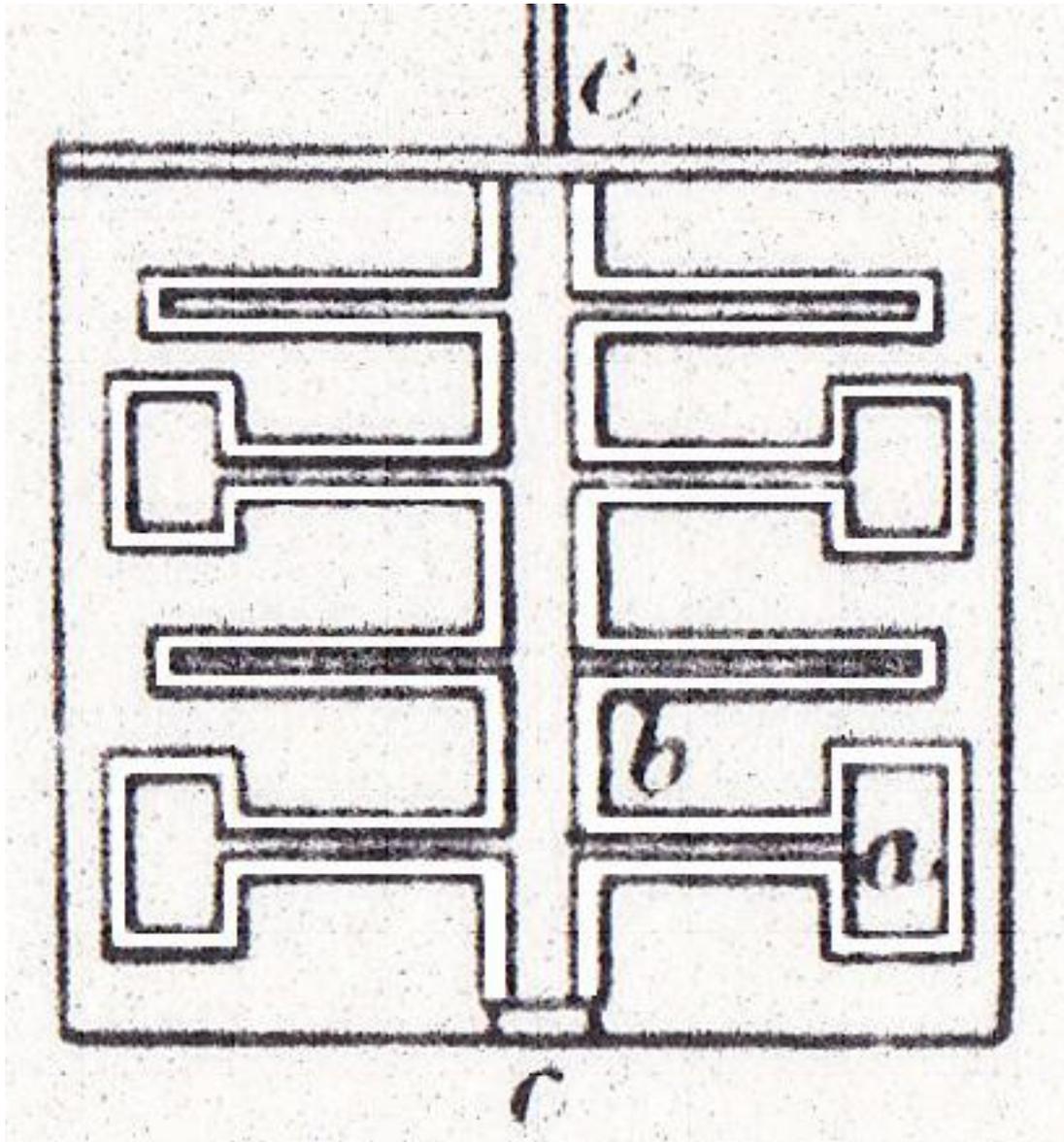


Fig. 4.1

L'albero del mulinello veniva messo in movimento da un sistema di pesi liberi di cadere sotto la forza di gravità. Al termine della corsa dei pesi, si poteva constatare che il mulinello aveva riscaldato l'acqua. Poiché JOULE poteva calcolare l'energia meccanica sviluppata dalla caduta dei pesi, e poteva anche misurare con un termometro l'aumento di temperatura dell'acqua, fu in grado di determinare “l'equivalente meccanico del calore” con molta precisione. Attualmente, questo equivalente è stato quantificato con maggior precisione e si conviene che valga $4,186 \text{ J/cal}$ (Joule per caloria).

Questi dati sperimentali hanno consentito a JOULE di dimostrare che il lavoro meccanico (o energia meccanica) compiuto dai pesi, si

era trasformato completamente (senza nessuna perdita) in calore. JOULE tentò di divulgare questi risultati con altre letture, come ad esempio quella intitolata “*On the Mechanical Equivalent of Heat*”, tenuta a Cambridge nel 1845 presso la British Association, o come l'altra, intitolata “*On Matter, Living Force, and Heat*”, tenuta in Manchester presso la St. Ann's Church e poi pubblicata dal giornale “*The Manchester Courier*”, 5 e 12 Maggio 1847.

I risultati sperimentali ottenuti da JOULE dimostravano che il calore non era altro che una trasformazione del movimento meccanico, ovvero una forma diversa di movimento meccanico.

In questa nuova visione, il calore è equiparato al moto dei corpi.

Nella visione moderna e attuale, il calore è semplicemente la manifestazione macroscopica del moto invisibile delle componenti più minute della materia: atomi e molecole.

Quando l'energia del mulinello (energia meccanica coerente) viene immessa e **dispersa** nel termostato contenente acqua, si trasforma, in apparenza, in un altro tipo di energia: diventa calore, perché l'acqua si riscalda. In sostanza, il moto meccanico coerente del mulinello impartisce energia alle molecole dell'acqua, e quindi il calore che si è creato nell'acqua va ad aumentare l'agitazione di tutti i movimenti meccanici microscopici delle molecole dell'acqua stessa. Questi movimenti, però, non sono più coerenti ma sono caotici (energia meccanica incoerente).

In sostanza, al contrario dei teorici sostenitori della teoria del Calorico, i quali avevano un concetto quasi Aristotelico della natura del calore, JOULE stabilì definitivamente la natura del calore tramite quello che nella Scienza viene chiamato un esperimento risolutivo.

Come si è già detto, secondo una consolidata prassi scientifica, di Galileiana memoria, nel momento in cui un principio di Natura

viene contraddetto e la Comunità Scientifica ne prende atto, si promuove l'esecuzione di un esperimento risolutivo, ideato in modo tale da costituire uno “spartiacque”: il cosiddetto “Experimentum Crucis”.

Teniamo presente questo aspetto, molto importante per i nostri futuri ragionamenti.

Come abbiamo già detto, nel momento in cui un experimentum crucis condiviso dalla Comunità Scientifica dimostra che una certa teoria viene contraddetta, la Comunità Scientifica stessa ha il dovere di modificare tale teoria, e sostituirla con una nuova la quale, però, deve comprendere tutti i fenomeni descritti dalla precedente.

JOULE, però, andò oltre il grande risultato sperimentale da lui ottenuto: secondo lui, non solo tutto il lavoro si poteva convertire in calore, ma era vero anche l'inverso: Tutto il calore poteva essere completamente trasformato in lavoro meccanico. Anche il già citato Mayer, nel 1845, sosteneva questa completa convertibilità tra le due forme di energia.

Mayer, tuttavia, non aveva buone conoscenze di matematica. Anche Joule non aveva alle sue spalle una specifica base accademica e, come si è visto, inizialmente i suoi studi non furono presi in considerazione da parte della Comunità Scientifica.

La Comunità Scientifica accolse JOULE nel suo seno solo in seguito, dopo che qualche accademico si convinse ad abbandonare la teoria del Calorico - vedi, ad esempio, la memoria di Clausius del 1850 citata nel seguito, e poi quella del 1854, pubblicata da JOULE in collaborazione con l'accademico William Thomson (poi Lord Kelvin), dal titolo:

“On the Thermal effects of Fluids in Motion”,

rintracciabile al seguente indirizzo di rete:

<https://archive.org/details/philtrans01519958>

Questi fatti portarono l'attenzione generale sugli esperimenti condotti da JOULE circa l'equivalente meccanico della caloria, ed all'accoglimento, da parte della Comunità Scientifica, delle idee di JOULE con una eccezione, però. Infatti, come si diceva, sia MAYER che JOULE non solo sostenevano che tutto il lavoro si poteva convertire in calore, ma essi sostenevano che fosse possibile anche la convertibilità inversa: La completa convertibilità del calore in lavoro meccanico (senza alcuna condizione limitativa).

JOULE, ad esempio, nel 1847 era piuttosto chiaro, al riguardo, come si evince dalle seguenti sue affermazioni:

“Ma la prova più convincente della conversione di calore in forza motrice si è ottenuta in un mio esperimento con la macchina elettro-magnetica, una macchina composta di magneti e barre di ferro messe in moto da una batteria elettrica. Io ho dimostrato sperimentalmente che in proporzione esatta con cui questa macchina lavora, il calore è estratto dalla batteria elettrica. Voi vedete dunque che la forza viva può essere convertita in calore e che il calore può essere convertito in forza viva o una sua equivalente attrazione attraverso lo spazio. Tutte e tre, cioè calore, forza viva ed attrazione nello spazio (a cui potrei anche aggiungere “luce” se fosse compatibile con lo scopo della presente lettura) sono mutuamente convertibili l'una nell'altra. In queste conversioni nulla è mai perduto.” (On Matter, Living Force, and Heat, p. 270-271 già citato).

Ci pensarono poi i veri scienziati, come CLAUSIUS e KELVIN, a “rimettere le cose al loro giusto posto”, introducendo limitazioni alla convertibilità del calore in lavoro meccanico. Essi espressero queste limitazioni sia tramite assiomi da loro stessi ideati, sia con l'uso della dimostrazione per assurdo. Come vedremo, secondo KELVIN (1824-1907) e CLAUSIUS (1822-1888), infatti, non tutto il calore può essere convertito completamente in lavoro. Tuttavia, al termine

del presente lavoro sarà chiaro che MAYER e JOULE potevano avere ragione, mentre CLAUSIUS e KELVIN erano sicuramente in torto.

4.4 LA MEMORIA DEL 1849 DI WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN)

Come si è già accennato, verso la metà del XIX secolo, William Thomson (1824–1907), in seguito Lord Kelvin, iniziò ad occuparsi della teoria del calore. KELVIN ebbe una carriera accademica fulminante. Laureatosi brillantemente in fisica nel 1845 presso l'Università di Cambridge, divenne subito professore di filosofia naturale presso l'università di Glasgow.

Nel 1849, KELVIN pubblica un articolo intitolato:

“An account of Carnot's theory of the motive power of heat; with numerical results deduced from Regnault's experiments on steam”,
rintracciabile al seguente sito web:

<https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/kelvin1849.pdf>

Nonostante KELVIN ammettesse in questa memoria di conoscere i lavori di JOULE pubblicati nel 1845, già citati in precedenza, non ebbe il coraggio di prenderne atto e di trarne le dovute conseguenze. Restò ancorato alla teoria del Calorico, che era al tempo quella più accreditata, e si lasciò sfuggire la priorità della scoperta di una nuova funzione di stato: L'energia interna.

Possiamo considerare inutile qualunque altro commento sulla memoria di KELVIN del 1849.

4.5 ULTERIORI PRECISAZIONI SU CALORE, TEMPERATURA, PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA E ENERGIA INTERNA

A questo punto, è opportuno ricordare alcuni concetti elementari di

fisica. Il Primo Principio della Termodinamica non è altro che un adattamento ai fenomeni termici del più generale principio di conservazione dell'energia. Secondo il Primo Principio della Termodinamica, calore e lavoro meccanico sono completamente convertibili l'uno nell'altro: Tutto il lavoro può essere trasformato in calore e, viceversa, tutto il calore può essere trasformato in lavoro. Tuttavia, molto spesso, cioè per molti fenomeni termici, il Primo Principio della Termodinamica deve essere considerato insieme al Secondo Principio della Termodinamica, il quale, come vedremo, stabilisce dei limiti soltanto alla convertibilità del calore in lavoro meccanico.

Per quanto riguarda il concetto di Energia Interna, tale grandezza fisica esprime la somma di tutte le energie possedute da un corpo. Al giorno d'oggi, si ritiene che queste energie siano quelle cinetiche e potenziali delle componenti interne di un corpo, come ad esempio le energie vibrazionali, traslazionali e rotazionali di atomi e molecole.

L'energia interna è una “funzione di stato” di quel corpo - con ciò si intende significare che l'energia interna di un corpo è definita in modo univoco dal valore della sua temperatura, pressione e volume, e non dal modo in cui tali valori sono stati raggiunti.

Per afferrare meglio il concetto di energia interna, consideriamo che cosa succede all'acqua contenuta nel mulinello di JOULE.

Distinguiamo due casi e conveniamo che in entrambi i casi il mulinello di JOULE sia mosso dalle medesime masse di materia: Pesi liberi di cadere sotto la forza di gravità. Conveniamo, inoltre, che la massa di acqua contenuta nel termostato sia la medesima in entrambi i casi, con la differenza che nel primo caso l'acqua sia tutta allo stato liquido, mentre nel secondo vi sia una parte dell'acqua ghiacciata, cioè allo stato solido.

In entrambi i casi, il movimento del mulinello cede energia alle

molecole dell'acqua stessa. Nel primo caso, in cui l'acqua non contiene ghiaccio, la temperatura aumenta durante la rotazione. Nel secondo caso, la temperatura non aumenta fintanto che resta qualche traccia di ghiaccio. Questi due casi possono sembrare diversi, perché nel primo caso la temperatura aumenta e nel secondo non aumenta. Ma in realtà, in entrambi i casi il mulinello ha ceduto la medesima energia alla identica massa di liquido. Poiché, per il principio di conservazione dell'energia, questa entità si conserva, ne dobbiamo dedurre che, al termine dei due esperimenti, l'energia interna delle due eguali quantità di acqua è aumentata di una medesima entità.

Nel primo caso, però, l'energia assorbita ha causato un aumento di temperatura, mentre nel secondo caso la medesima energia assorbita ha provocato la fusione di una parte del ghiaccio. Possiamo estendere questo ragionamento ad altri sistemi fisici e comprendere che, a seconda della loro composizione e dello stato fisico (solido, liquido, gassoso), la variazione di una medesima quantità di energia interna potrà produrre effetti diversi.

Ora immaginiamo un altro caso. Questo prevede che un gas sia contenuto in un cilindro verticale con la base chiusa e saldata ermeticamente, mentre il lato opposto in alto sia chiuso da un pistone libero da attrito, cosicché può muoversi su e giù per il cilindro. Conveniamo anche che il pistone sia tenuto fermo dal suo stesso peso, il quale eserciti una forza tale da controbilanciare la pressione interna del gas, che tenderebbe a espellere il pistone.

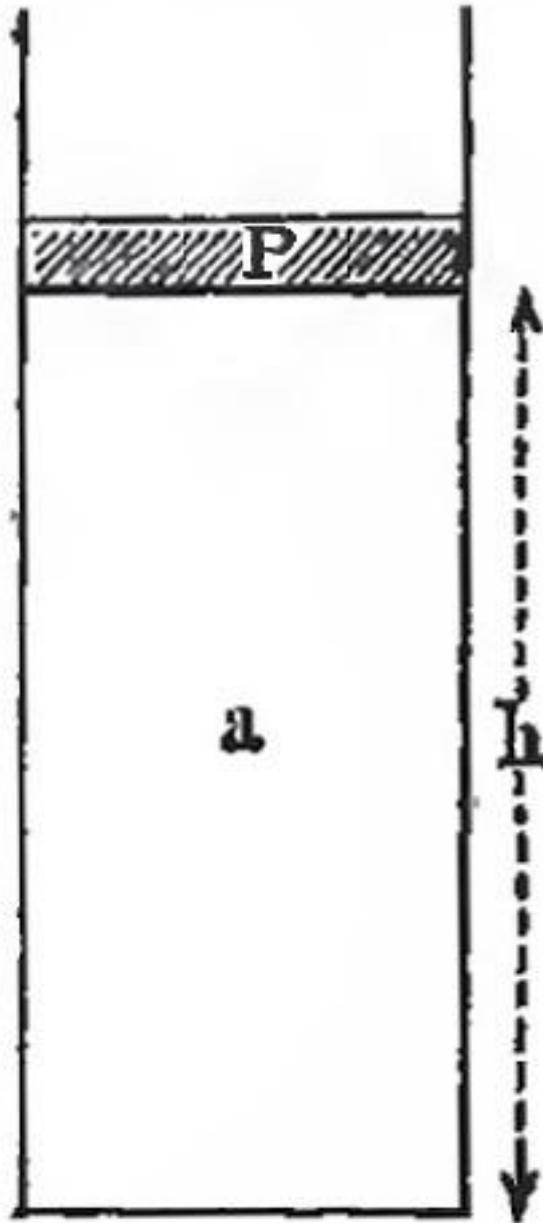


Fig. 4.2

Nella precedente Figura 4.2, il cilindro contiene il gas (**a**) che è mantenuto al suo interno dal pistone **P**, il quale resta sollevato al livello (**h**) poiché il suo stesso peso controbilancia la pressione interna esercitata da (**a**).

Quando una certa quantità di calore viene inviata dall'esterno verso il gas contenuto nel cilindro, il gas diventa più caldo. Di conseguenza, la pressione interna al cilindro aumenta e il pistone può vincere la forza del suo stesso peso e si deve muovere verso

l'alto di qualche misura. Questo innalzamento del peso corrisponde ad un lavoro meccanico. Ma questo lavoro non sarà uguale all'equivalente meccanico delle calorie cedute al gas. Ne mancherà una frazione: Quella che è servita a cambiare lo stato fisico del gas.

In sostanza, il calore impartito al gas si è diviso in due frazioni di energia. Una frazione di calore si manifesta con l'innalzamento del peso (lavoro esterno). L'altra frazione di calore compie un lavoro che non si manifesta esternamente, perché viene esercitato tra gli atomi del gas stesso (lavoro interno) e la sua entità dipende dalla natura del fluido gassoso.

In ciò, è l'essenza del primo teorema fondamentale della termodinamica: Il calore che è fluito durante l'operazione è uguale alla somma del lavoro che il calore stesso ha sviluppato tramite il gas, più la differenza di energia interna del gas stesso.

È quindi giustificato il “consumo” del calore che sta alla base della teoria dinamica. Il calore che in apparenza è sparito, in realtà si è trasformato in energia interna; ciò che rimane si trasforma in energia meccanica.

4.6 INTRODUZIONE ALL'ASSIOMA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

Nella fisica classica ha assunto molta importanza anche il Secondo Principio della Termodinamica.

Come si è detto, il Secondo Principio della Termodinamica introduce un'asimmetria nei possibili flussi di calore: mentre il Secondo Principio della Termodinamica, in pieno accordo con il Primo Principio della Termodinamica, non pone alcun limite alla trasformazione di tutto il lavoro meccanico in calore, pone, invece, una limitazione alla convertibilità del calore in lavoro.

Per l'odierna Comunità Scientifica, il Secondo Principio della

Termodinamica rappresenta una sorta di integrazione del Primo Principio della Termodinamica.

C'è una differenza di non poco conto tra i due principi: Il Secondo Principio della Termodinamica prende in considerazione non solo il sistema fisico in cui il calore si trasforma in lavoro (come per il Primo Principio), ma anche l'ambiente circostante al sistema.

Questo ambiente circostante viene anche definito “il resto dell'universo”.

Si faccia attenzione anche ad un'altra sottigliezza: Il Secondo Principio della Termodinamica non impedisce in modo assoluto che tutto il calore si possa trasformare in lavoro in un sistema fisico, ma se questo accade, allora il medesimo principio richiede che si debba verificare, allo stesso tempo, qualche altro concomitante fenomeno esterno al sistema: Nell'universo che circonda quel sistema.

Il Secondo Principio della Termodinamica introduce, quindi, un'asimmetria che, secondo l'odierna concezione, rispecchia il naturale andamento del calore in Natura: Il calore fluisce sempre, spontaneamente, dai corpi più caldi a quelli più freddi, mentre mai si verifica spontaneamente che un corpo si raffreddi da solo.

Facciamo subito un esempio per capire il significato di “fenomeno esterno concomitante”.

Consideriamo un recipiente perfettamente isolato contenente un corpo caldo posto in alto, mentre in basso vi sia un liquido più freddo. Quando il corpo caldo viene immerso nel liquido freddo, dopo un certo tempo la temperatura del corpo e del liquido diventeranno uguali e si stabilizzeranno ad un valore intermedio.

Questo è un fenomeno di conduzione spontanea di calore che, secondo la teoria termodinamica attuale, è considerato “irreversibile”. Indubbiamente, non si potrà mai verificare che il corpo e il liquido, una volta separati, possano ritornare,

spontaneamente, alle temperature originali, anche se per il Primo Principio della Termodinamica il contenuto energetico del sistema isolato recipiente-corpo-liquido è lo stesso, sia prima che dopo l'immersione.

In altri termini, se immaginiamo che questo semplice sistema sia perfettamente isolato dal resto del mondo, e calcoliamo il contenuto di energia prima e dopo la riunione dei due corpi, troveremo che il contenuto di energia è rimasto costante, in perfetto accordo con il Primo Principio della Termodinamica.

Se in quel sistema isolato potesse avvenire una spontanea inversione di temperatura, tale da riportare il corpo e il liquido alle stesse precedenti temperature, questo evento sarebbe ancora in accordo con il Primo Principio della Termodinamica: Troveremmo ancora lo stesso contenuto di energia, sia prima che dopo l'inversione spontanea.

Il Secondo Principio della Termodinamica vieta che questa inversione di temperatura si possa verificare spontaneamente, ma non vieta in modo assoluto che si possa verificare; si può verificare, ma allora il principio richiede che qualche altro fenomeno debba contestualmente verificarsi “fuori” del sistema isolato costituito dall'insieme corpo-liquido, nel “resto dell'universo”.

Ad esempio, l'evento di cui sopra si può verificare se facciamo intervenire un frigorifero posto all'esterno al sistema isolato.

Come si può intuire dal ragionamento precedente, la definizione del Secondo Principio della Termodinamica non è univoca: Se ne conoscono moltissime versioni dovute a diversi studiosi. Come scrive Clifford Ambrose Truesdell (1919-2000):

“Esito a usare i termini “prima legge” e “seconda legge”, perché ci sono almeno tante “prima e seconda leggi” per quanti termodinamici ci sono...” (*Rational Thermodynamics*, Lecture 1, p.

11).

Riportiamo alcuni esempi di assiomi del Secondo Principio della Termodinamica, secondo la teoria dinamica del calore attualmente condivisa dalla Comunità Scientifica.

- 1) Assioma di Kelvin: *“È impossibile, per mezzo di agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti”*;
- 2) Assioma di Clausius: *“Il calore non può mai passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, abbia luogo allo stesso tempo”*;
- 3) Assioma di Planck: *“È impossibile costruire una macchina tale che, funzionando in un ciclo, produca altro effetto che il sollevamento di un peso e il raffreddamento di una sorgente di calore.”*
- 4) *“È impossibile costruire una macchina tale che, funzionando in un ciclo, produca altro effetto che l'estrazione di calore da una riserva (di calore – ndr) e la produzione di un valore equivalente di lavoro.”*
- 5) Assioma combinato “Kelvin-Planck”: *“È impossibile costruire una macchina che funzionando in un ciclo, riesca a produrre altro effetto che quello della estrazione di calore da una sorgente e la produzione di un equivalente quantità di lavoro”*;
- 6) *“È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo senza l'apporto di lavoro esterno”*.
- 7) *“È impossibile realizzare una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di tutto il calore assorbito da una sorgente omogenea”*.

8)“È impossibile realizzare una macchina termica il cui rendimento sia pari al 100%”.

Come si vede, tutti questi enunciati consistono in “assiomi”, ovvero affermazioni non dimostrate e non dimostrabili. È però essenziale notare che questi assiomi non si riferiscono a ciò che accade in Natura, come per tutti gli altri assiomi della fisica, ma a ciò che in Natura “**non**” accade o non deve mai accadere, o anche ciò che l'Uomo non può fare.

Anticipando ciò che vedremo meglio in seguito, possiamo dire che esiste anche la versione del Secondo Principio della Termodinamica espressa in termini di una funzione matematica chiamata “Entropia”.

Tuttavia, la versione entropica della seconda legge, essendo stata derivata con metodi matematici da uno dei precedenti assiomi, non può essere definita come un assioma, ma deve essere chiamata con il suo giusto nome: Un teorema - il secondo teorema fondamentale della termodinamica. La conclusione di tale teorema è che:

“L'entropia di un sistema isolato lontano dall'equilibrio termico, tende a crescere nel tempo finché l'equilibrio non è raggiunto”.

Questa espressione del secondo teorema della termodinamica potrebbe sembrare una dichiarazione propositiva, ma se la consideriamo attentamente, notiamo che anche in essa cogliamo la dichiarazione di ciò che “non” deve accadere in un sistema del genere: L'entropia non può diminuire spontaneamente in un sistema chiuso e non può neanche restare costante.

4.7 LA MEMORIA DEL 1850 DI RUDOLF CLAUSIUS

La Comunità Scientifica è praticamente unanime nell'attribuire a Rudolf Julius Emanuel Clausius (nato Rudolf Gottlieb, 1822–1888), il merito di aver sviluppato la teoria dinamica del calore ad un livello di eccellenza tutt'ora insuperato. Lo dimostra il fatto che le

argomentazioni sviluppate circa 160 anni or sono da CLAUSIUS, sono riportate sostanzialmente identiche nei moderni libri di testo di termodinamica.

Non tutti, però, la pensano allo stesso modo.

Dopo l'inconcludente memoria di KELVIN del 1849, “*Per vagliare, raffinare e riordinare questi materiali, la b btragicomica musa della termodinamica lancia il suo effluvio e la sua maledizione su un uomo che, come CARNOT, è un penetrante studioso della natura ma una scadente matematico: RUDOLF CLAUSIUS:*” (TRUEDEL - *The Tragicomical History*, p. 185).

Sono perfettamente d'accordo con la valutazione di TRUEDEL, permettendomi di aggiungere che la Logica non era la materia in cui CLAUSIUS eccelle.

È questo il motivo che mi fa ritenere importante l'esame critico di tutte le memorie di CLAUSIUS, a cominciare dalla sua prima memoria sul tema, pubblicata nel 1850.

Qualcuno potrebbe ritenere che concentrare l'attenzione su questa prima memoria sia un inutile sforzo, poiché CLAUSIUS successivamente ha pubblicato altre memorie per precisare meglio i significati introdotti nella prima.

A mio avviso, invece, è necessario esaminare con molta attenzione proprio la sua prima memoria del 1850, perché nella seconda parte (dedicata al Secondo Principio della Termodinamica) vi sono incongruenze o errori di logica.

CLAUSIUS si rese certamente conto di tali errori, ma probabilmente ciò accadde **dopo** la pubblicazione della citata memoria.

Nelle sue memorie successive, infatti, CLAUSIUS ha tentato di correggere detti errori, ma questi sono talmente gravi che sarebbe stato un suo dovere pubblicare una apposita memoria di sconfessione.

Da vari riferimenti bibliografici, tuttavia, si desume che CLAUSIUS avesse un carattere alquanto presuntuoso e arrogante. Ritengo, pertanto, che non rientrasse nel carattere di CLAUSIUS considerare l'ipotesi di confessare errori. Vedremo, infatti, nelle sue memorie successive alla prima, quali tentativi egli abbia posto in atto per nascondere i suoi errori.

Personalmente ritengo che, nell'elaborare le suddette modifiche, CLAUSIUS non abbia fatto altro che introdurre altre illogicità, ingarbugliando totalmente la già confusa sua prima impostazione della teoria del calore. L'aspetto che mi appare più tragico di questa storia, è che questa impostazione sia stata accettata e condivisa, fino al giorno d'oggi, dalla Comunità Scientifica.

Dopo la pubblicazione della citata memoria di KELVIN del 1849, CLAUSIUS prese atto che l'esperimento di JOULE, da considerare a tutti gli effetti come *experimentum crucis*, distruggeva la teoria del calorico, e fu il primo a sfruttare questa nuova consapevolezza per elaborare nuovi teoremi basati sulla teoria dinamica del calore, riuscendo a dare una formulazione matematica al Primo Principio della termodinamica.

Nel 1850, come si è detto, la rivista scientifica *Annalen der Physik und Chemie*, più nota come *Poggendorff's Annalen*, di cui Johan Christian Poggendorff era capo-redattore, pubblicò la prima memoria di CLAUSIUS intitolata “*Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen*”, con la quale illustrava un nuovo modo di impostare la teoria del calore.

Questo lavoro fu tradotto in Inglese e pubblicato nel 1851 con il titolo “*On the moving force of heat, and the laws regarding the nature of heat itself which are deducible therefrom*”. (*Philosophical Magazine and Journal of Science, Fourth Series, July 1851*).

Questa traduzione si trova a p. 15-16 del volume:

“The Mechanical Theory of Heat, with its Applications to the Steam-engine and the Physical Properties of Bodies”

rintracciabile al seguente indirizzo web:

<https://books.google.it/books?id=8LIEAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false>

Oppure può essere acquistata presso:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1478644510810?journalCode=tphm15>

Nel presente capitolo analizziamo le due Sezioni di questa pubblicazione.

La prima Sezione è dedicata al concetto di equivalenza tra calore e lavoro (Primo Principio della termodinamica), mentre la seconda Sezione è dedicata al tentativo di adattare l'abbozzo del Secondo Principio della Termodinamica dovuto a CARNOT, alla nuova teoria dinamica del calore.

4.8 RUDOLF CLAUSIUS – MEMORIA DEL 1850 – SEZIONE PRIMA

Nella prima Sezione della sua prima memoria, CLAUSIUS cerca di modificare le considerazioni, ora divenute insostenibili, che CARNOT aveva elaborato restando nella teoria del Calorico.

CLAUSIUS prende atto del fatto che il calore non è una sostanza, in quanto la sua entità può anche aumentare.

La parte che segue è molto importante da considerare, poiché vi si trova un aspetto che non è mai considerato nei testi didattici di termodinamica.

CLAUSIUS prende atto che *l'experimentum crucis* realizzato da JOULE (e confermato da altri sperimentatori indipendenti) impone la modifica della teoria del Calorico.

Scrivo, infatti CLAUSIUS (p. 15-16):

*“Non sono convinto, tuttavia, che sia sufficientemente provato sperimentalmente che non vi sia alcuna perdita di calore quando si compie lavoro, Forse il contrario può essere affermato con maggiore giustificazione; che sebbene una perdita del genere non sia stata provata direttamente, altri fatti rendono altamente probabile che si verifichi una diminuzione. Se si assume che il calore, come la materia, non si possa far diminuire in quantità, si deve anche assumere che esso non possa essere fatto aumentare; ma è quasi quasi impossibile spiegare l'aumento di temperatura prodotto per attrito in modo diverso da un effettivo aumento di calore. **Gli accurati esperimenti di Joule**, che ha prodotto calore in vari modi tramite l'applicazione di forze meccaniche, stabiliscono quasi con certezza, non solo la possibilità di aumentare la quantità di calore ma anche che il calore prodotto è proporzionale al lavoro speso nella sua produzione. A ciò si può aggiungere, che sono trapelati ultimamente molti fatti che tendono a ribaltare l'ipotesi che il calore sia una sostanza, e provano che esso consiste in un moto delle più minute parti dei corpi. Se questo fosse corretto, i principi generali della meccanica sarebbero applicabili al calore; il moto può essere trasformato in lavoro, la perdita di vis viva essendo proporzionale al lavoro prodotto. Queste circostanze, di cui Carnot era ben consapevole, e l'importanza delle quali egli ha espressamente ammesso, richiedono pressantemente una comparazione tra calore e lavoro, da intraprendere con riferimento alla diversa opinione che la produzione di lavoro non è dovuta ad una alterazione nella distribuzione del calore, ma anche un suo*

effettivo consumo; e inversamente, che tramite la consumazione di lavoro si possa produrre calore...

omissis

(p. 17-18)

Ad una più accurata visione del caso, troviamo che la nuova teoria è opposta, non al vero principio fondamentale di Carnot, ma alla aggiunta “nessun calore è perduto”; dato che è del tutto possibile che nella produzione di lavoro entrambe possano aver luogo al medesimo tempo; una certa porzione di calore può essere consumata, e una ulteriore porzione trasmessa da un corpo caldo ad uno freddo; ed entrambe le porzioni possano stare in un certo rapporto definito con la quantità di lavoro prodotto. Ciò diventerà più evidente mentre procediamo; e sarà ancora una volta mostrato, che le deduzioni da trarre da entrambe le assunzioni non solo possono esistere insieme, ma che si supportano mutuamente l'una con l'altra.

1. Deduzioni dal principio di equivalenza di calore e lavoro.

*Al momento possiamo astenerci dal considerare la natura del moto che si suppone esista dentro un corpo, e in generale dobbiamo assumere che esista realmente un moto di particelle, e che il calore sia la misura della loro “vis viva”. O ancora più in generale, dobbiamo semplicemente stabilire un postulato che sia fondato sulla assunzione di cui sopra: - **In tutti i casi in cui viene prodotto lavoro, una quantità di calore proporzionale al lavoro fatto è consumata; e inversamente, tramite il consumo di una uguale quantità di lavoro, la stessa quantità di calore può essere prodotta.**”*

L'ultimo paragrafo in grassetto sopra riportato, costituisce l'assioma che CLAUSIUS pone a fondamento del Primo Teorema Fondamentale della termodinamica.

CLAUSIUS argomenta che il suo assioma del Primo Principio richiede l'introduzione di altre due modifiche rispetto alla vecchia teoria del Calorico.

La prima, è che non si può più sostenere il concetto di “quantità di calore posseduta” da un corpo.

Nella vecchia concezione del calore, si riteneva che tale quantità dipendesse soltanto dai valori delle proprietà fisiche del corpo, come temperatura, densità, eccetera; ora, nella nuova teoria, tutto ciò non è più sostenibile.

La seconda modifica riguarda la dipendenza della quantità di calore connessa con una certa trasformazione, rispetto al percorso di tale trasformazione.

La vecchia teoria non aveva bisogno di considerare tale dipendenza.

Se invece ora si ammette che in un certo corpo esistono particelle in moto (atomi e molecole), allora durante una certa trasformazione vi devono essere forze interne interagenti tra tali particelle, e forze esterne esercitate sulla intera massa del corpo stesso, o che esso esercita sull'esterno.

Pertanto, l'energia complessivamente connessa con una trasformazione che parte da un certo punto Alfa e termina in un altro punto Beta, deve dipendere non solo dalla posizione dei due punti, ma anche dal percorso che li unisce.

Questa nuova condizione complica lo sviluppo della nuova teoria del calore. Tuttavia CLAUSIUS pensa di riuscire ad eliminare questa difficoltà, salvando un altro concetto ideato da CARNOT; infatti scrive (p. 23):

“Quando un corpo qualsiasi cambia volume, il cambiamento è sempre accompagnato da lavoro meccanico prodotto o speso. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, è impossibile determinare ciò con accuratezza, perché un lavoro interno sconosciuto solitamente si

manifesta allo stesso tempo con quello esterno. Per evitare questa difficoltà, Carnot adottò l'ingegnoso sistema al quale ho in precedenza alluso: egli consentì al corpo di subire vari cambiamenti, e di portarlo infine allo stato primitivo; pertanto se per uno dei cambiamenti è stato prodotto lavoro interno, questo sarà sicuramente annullato da qualche altro cambiamento; ed egli era sicuro che la quantità di lavoro esterno che restava fosse la quantità totale prodotta. Clapeyron ha reso ciò molto evidente tramite un diagramma: proponiamo di seguire il suo metodo con gas permanenti in prima istanza, introducendo, tuttavia, qualche altra lieve modifica resa necessaria dal nostro postulato.”

Vediamo, quindi, che CLAUSIUS inizia lo sviluppo della nuova teoria, **limitandola ai soli fenomeni ciclici**, fatto che non viene evidenziato nei Testi di termodinamica.

Poiché il nostro principale interesse non è rivolto al Primo Principio, ma al Secondo Principio della Termodinamica, passiamo senz'altro alla seconda sezione della prima memoria di CLAUSIUS (p. 102–119).

4.9 RUDOLF CLAUSIUS - MEMORIA DEL 1850 – SEZIONE SECONDA: IL TENTATIVO DI SALVARE IL TEOREMA DI CARNOT – PRIMA LIMITAZIONE IMPOSTA ALLA TEORIA

Nella seconda Sezione della memoria del 1850, CLAUSIUS si accinge a dimostrare che la parte essenziale del teorema di CARNOT, ovvero che il rendimento di una macchina termica non dipende dalla sostanza impiegata ma dipende solo dalle temperature, resta valida nella nuova teoria dinamica del calore che egli si appresta a sviluppare.

Una volta accettata l'idea che il calore è consumabile, CLAUSIUS cerca di adattare la teoria del Calorico alla nuova realtà

sperimentale, ma non riesce a ideare niente di meglio dello schema di CARNOT, consistente nella combinazione di due macchine termiche contrapposte.

Se il calore si può consumare, allora aggiustando idealmente le due macchine termiche in modo da **annullare il lavoro complessivamente prodotto dal motore, in quanto assorbito interamente dal frigorifero, si avrebbe una continua accumulazione di calore sulla sorgente calda, la cui entità, però, sarebbe fornita, in ultima analisi, dalla riserva più fredda.**

Ciò impedisce di utilizzare il principio del terzo escluso, poiché viene a mancare l'assurdità consistente nella creazione di energia dal nulla (la quantità di calore estratta dalla riserva fredda si ritrova integralmente nella riserva più calda).

La seguente Figura 4.3 mostra a sinistra la configurazione schematica di una macchina termica (secondo la teoria del Calorico), mentre a destra la nuova configurazione di di una macchina termica (secondo la nuova teoria dinamica del calore).

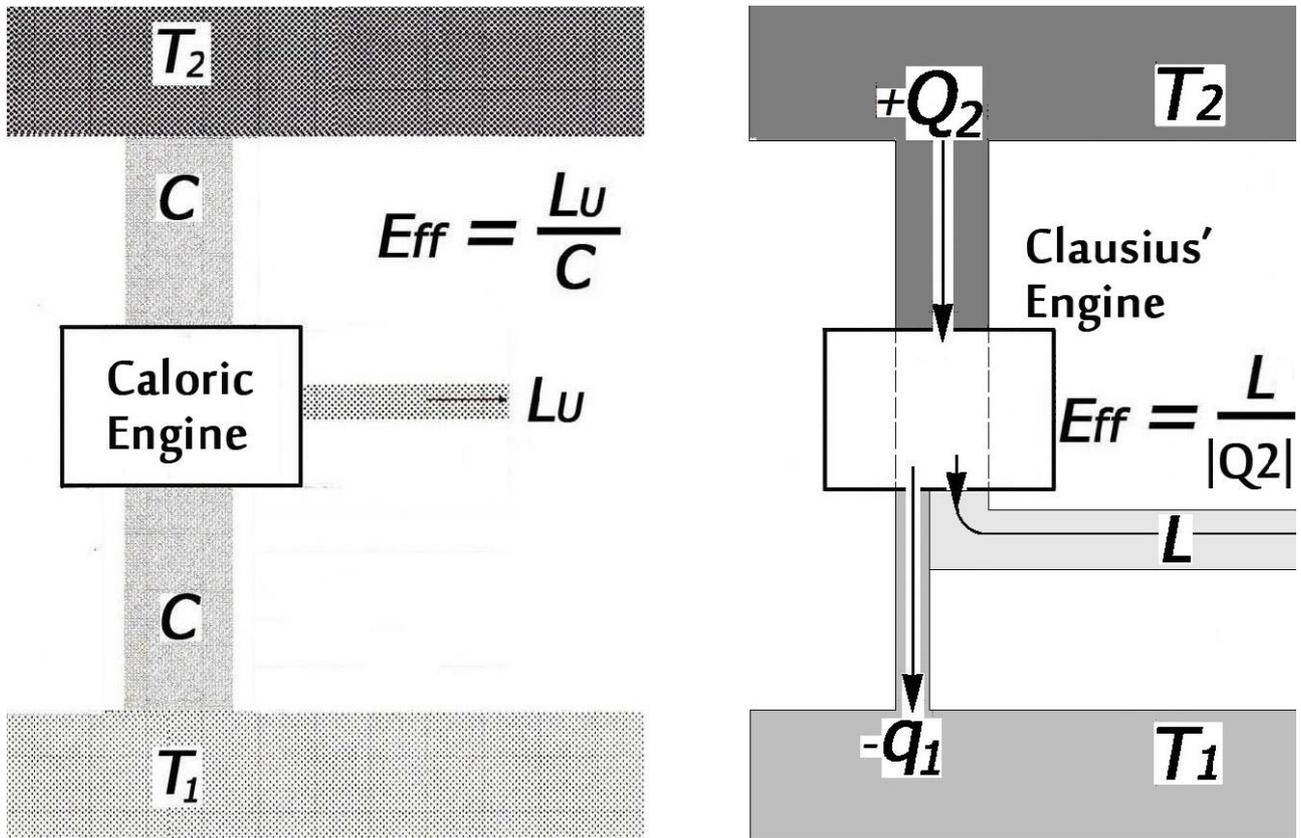


Fig. 4.3

Come si vede chiaramente, la differenza tra le due configurazioni è notevole.

Ora la logica di CARNOT (l'uso del Principio del Terzo Escluso) non è più idonea ad escludere categoricamente che l'insieme delle due macchine possa accumulare una quantità di calore sulla riserva calda (accumulazione di energia termica), estraendolo da quella fredda.

Se questo diventasse possibile, allora si potrebbe nuovamente convertire tale quantità calore in energia meccanica, ma senza alcuna "spesa".

Per poter continuare ad usare la comoda dimostrazione per assurdo, ma soprattutto per salvare le conclusioni di CARNOT, che sembravano così aderenti alla "sana fisica", CLAUSIUS deve introdurre nuove restrizioni, nuovi assiomi: Altre tipologie di assurdit .

CLAUSIUS decreta che questo nuovo tipo di trasferimento di calore sia impossibile, ed esprime questo concetto con un nuovo assioma.

Altri studiosi e scienziati esprimeranno questo concetto con altre proposizioni, le quali diventeranno espressioni differenti del medesimo Secondo Principio.

La Comunità Scientifica ritiene che tutti questi diversi enunciati siano equivalenti tra loro. Sono note, infatti, dimostrazioni di logica-matematica che pretendono di affermare la perfetta equivalenza dell'assioma di CLAUSIUS e di quello KELVIN-PLANCK.

Ma vedremo che tali dimostrazioni non sono condivisibili dal punto di vista della matematica costruttiva.

Anticipo subito che l'idea trainante del suo nuovo corso teorico, CLAUSIUS la esprime in modo chiaro all'inizio della seconda Sezione (p. 43), nel pezzo che segue:

“Carnot, come già detto, ha considerato la produzione di lavoro come equivalente di una semplice trasmissione di calore da un corpo caldo ad uno freddo, restando non diminuita la quantità di calore. L'ultima parte di questa assunzione, che la quantità di calore non diminuisce, contraddice il nostro postulato (espresso nella prima Sezione - ndr), e deve quindi, essere respinta. La prima parte, tuttavia, può restare sostanzialmente com'è. Infatti sebbene non abbiamo bisogno di un particolare equivalente per il lavoro prodotto, dopo aver assunto come tale un effettivo consumo di calore, è tuttavia possibile che la citata trasmissione possa aver luogo contemporaneamente con il consumo, e possa verosimilmente avere una relazione definita con il lavoro prodotto. Resta quindi da investigare se questa assunzione, oltre ad essere possibile, abbia un sufficiente grado di probabilità per essere raccomandata.”

Insomma, CLAUSIUS vuole significare che il calore, nel produrre lavoro, viene sicuramente trasmesso, però è possibile che al contempo venga anche consumato. Ma andiamo per ordine.

Ciò che induce ad esaminare molto attentamente la seconda Sezione di questa prima memoria di CLAUSIUS, è il desiderio di comprendere le motivazioni che lo hanno spinto ad escogitare il famoso assioma posto a fondamento del Secondo Teorema Fondamentale della termodinamica, di cui parleremo ampiamente in seguito.

Comprendere ciò è di fondamentale importanza per i fini del presente lavoro.

Nella seconda Sezione della sua memoria, CLAUSIUS inizia a modificare un'altra considerazione che CARNOT aveva elaborato in relazione alla vecchia teoria del Calorico, ed in particolare la seguente (p. 43):

“Carnot ha considerato la produzione di lavoro come equivalente di una semplice trasmissione di calore da un corpo caldo ad uno freddo, restando non diminuita la quantità di calore...”

CLAUSIUS vuole rigettare l'ultima parte di questa proposizione (restando non diminuita la quantità di calore...), e vuole salvare “sostanzialmente” la prima, con la differenza che la “trasmissione” è sostituita dal “consumo” di calore.

I ragionamenti di CLAUSIUS che stiamo per commentare, sono finalizzati al “salvataggio” anche di un altro concetto introdotto da CARNOT: il “massimo” rendimento non dipende dal fluido utilizzato ma solo dalle temperature di funzionamento.

Per giungere a queste conclusioni, CLAUSIUS considera nuovamente il ciclo di CARNOT infinitesimale di cui alla prima Sezione (Figure 1 e 3), e ragiona, sostanzialmente, in questo modo:

Durante questo ciclo, il fluido riceve calore dal corpo caldo A e rigetta calore verso il corpo freddo B . Pertanto, una certa quantità di calore viene trasmessa, nel complesso, dal corpo A al corpo B .

Poi CLAUSIUS giunge ad uno dei punti che, come vedremo, si riveleranno cruciali nel deviare la teoria dinamica verso il binario morto in cui essa tuttora giace, sotto il nome di Termodinamica Classica.

A pagina 43 troviamo anche quanto segue :

*“Al fine, tuttavia, di mettere il calore trasmesso nella corretta relazione con il lavoro, una **limitazione** è ancora necessaria. Dal momento che una trasmissione di calore può avvenire per conduzione senza produrre nessun effetto meccanico quando un corpo caldo è messo in contatto con uno freddo, se vogliamo ottenere la massima quantità di lavoro dal passaggio di calore tra due corpi, diciamo alle temperature t e τ (tau), le cose devono essere aggiustate in modo che due sostanze a temperature diverse non debbano mai entrare in reciproco contatto. È questo “massimo” di lavoro che deve essere confrontato con la trasmissione di calore; e di conseguenza troviamo che può essere ragionevolmente assunto, con Carnot, che il lavoro dipende soltanto dalla quantità di calore trasmessa, dalle temperature t e τ dei corpi A e B , e non dalla natura della sostanza che la trasmette. Questo massimo ha la proprietà, che, tramite la sua “consumazione”, una quantità di calore può essere trasferita dal corpo freddo B al corpo caldo A uguale a quella che è passata da A a B durante la sua “produzione”. Possiamo facilmente convincerci di ciò concependo i processi descritti in precedenza eseguiti in maniera invertita.”*

Dall'ultima proposizione si deduce che CLAUSIUS sta considerando processi reversibili.

Nella prima parte del suo discorso, notiamo che la “limitazione” imposta da CLAUSIUS, che due sostanze a temperature diverse non debbano **mai** entrare in reciproco contatto (altrimenti non si ha il “massimo”), è identica a quella che CARNOT aveva posto nella teoria del Calorico per avere la massima resa.

4.10 OSSERVAZIONE INCIDENTALALE SULLE SOSTANZE A DIVERSA TEMPERATURA

È opportuno introdurre qui alcune considerazioni incidentali: Come si vedrà, la “limitazione” imposta da CLAUSIUS che due sostanze a temperature diverse non debbano **mai** entrare in reciproco contatto è un errore introdotto involontariamente dai Padri Fondatori nella teoria del calore, il quale va ad aggiungersi a tutti i loro successivi errori (che presto vedremo) che hanno trascinato la teoria classica del Secondo Principio della termodinamica nel punto morto in cui attualmente si trova.

Al riguardo, possiamo qui anticipare quanto segue. Nella teoria del Calorico, il lavoro era prodotto dal “trasporto” del Calorico dalla sorgente al refrigeratore per il tramite della macchina.

Pertanto, se il Calorico non attraversava la macchina, ma transitava direttamente tra sorgente e refrigeratore, l’efficienza doveva certamente diminuire.

Poi si è scoperto che il calore è equivalente all’energia meccanica, la quantità della quale si conserva durante le trasformazioni che può subire, per cui il passaggio diretto del calore da un corpo caldo ad uno freddo rappresenta il trasferimento di energia meccanica tra i due corpi.

Nel momento in cui si decide di abbandonare la teoria del Calorico e fondare la teoria dinamica del calore, imporre la limitazione che due sostanze a temperature diverse non debbano **mai** entrare in

reciproco contatto, significa limitare la generalità della nuova teoria, condannandola ad essere (eventualmente) valida soltanto per le trasformazioni in cui il calore viene scambiato tra corpi alla medesima temperatura, ovvero, solo per quelle trasformazioni che saranno chiamate “reversibili”.

Dopo questa parentesi incidentale, torniamo al punto, dicendo che CLAUSIUS vuole dimostrare che, nella nuova teoria, la conclusione che il “massimo” non dipende dalla sostanza impiegata come fluidosi può mantenere identica anche nella nuova teoria.

Per dimostrare tutto ciò, CLAUSIUS suppone che esistano due diversi fluidi che, impiegati nel citato ciclo di CARNOT, siano in grado di produrre quantità diverse di lavoro attraverso la trasmissione di una medesima quantità di calore o, ciò che è lo stesso, che nel produrre un certo lavoro, il primo fluido richieda un quantitativo inferiore di calore da trasferire dal corpo *A* al corpo *B* rispetto all'altro fluido.

CLAUSIUS suppone che i due fluidi vengano usati in modo alternato, nel senso che il primo fluido dovrebbe produrre lavoro, mentre al secondo fluido sarebbe affidato il compito di assorbire tutto quel lavoro e tramutarlo in calore tramite il medesimo processo, però invertito.

CLAUSIUS ritiene che al termine dei cicli, entrambi i corpi *A* e *B* tornerebbero nel loro stato originale e il lavoro complessivo sarebbe nullo.

Ci sarebbe, però, una differenza che consisterebbe nella diversa distribuzione del calore.

Una maggiore quantità di calore, infatti, sarebbe complessivamente convogliato dal corpo (freddo) *B* al corpo (caldo) *A*.

Pertanto, secondo CLAUSIUS, se due sostanze del genere esistessero, diventerebbe possibile trasmettere qualunque quantità di calore da un corpo freddo ad uno caldo senza alcuna compensazione.

Per rendere più comprensibile il nostro commento circa queste considerazioni di CLAUSIUS, è conveniente riportare il testo di pagina 103 integralmente, ma diviso in tre blocchi, che nominiamo Primo Blocco, Secondo Blocco e Terzo Blocco.

Con tale convenzione, nel seguito si potrà facilmente fare riferimento al contenuto dei Blocchi usando questi nomi.

Il primo Blocco di Pagina 44 si riferisce ad un ciclo reversibile eseguito in modo alterato con due diverse sostanze, ed è il seguente:

*“Supponiamo che esistano due sostanze, una delle quali è in grado di produrre **più lavoro** attraverso la trasmissione di una certa quantità di calore, o ciò che è lo stesso, che nello sviluppare un certo lavoro richieda una minor quantità di calore da trasferire da A a B rispetto all'altra; entrambe queste sostanze potrebbero essere applicate alternativamente; con la prima si potrebbe produrre lavoro secondo il processo descritto in precedenza, a quindi la seconda potrebbe essere applicata per consumare questo lavoro tramite l'inversione del processo. **Alla fine entrambi i corpi tornerebbero nel loro stato originale**; inoltre, il lavoro speso e il lavoro prodotto si annullerebbero tra loro, a quindi, anche in accordo con il nostro postulato, la quantità di calore non sarebbe né aumentata e né diminuita. Solo rispetto alla “distribuzione” del calore ci sarebbe una differenza, poiché più calore sarebbe portato da B ad A rispetto a A verso B, e quindi **nel complesso si verificherebbe una trasmissione da B ad A.**”.*

Subito dopo, segue il Secondo Blocco:

*“Pertanto, ripetendo entrambi questi processi alternanti, **senza spendere alcuna forza o altro cambiamento**, qualunque quantità di*

calore potrebbe essere trasmessa da un corpo freddo ad uno caldo; e ciò contraddice il generale comportamento del calore, che dovunque esibisce la tendenza ad annullare differenze di temperatura e quindi passa da corpi più caldi a corpi più freddi.”

E infine, ecco il Terzo Blocco:

“Da ciò sembrerebbe di essere “teoricamente” giustificati nel conservare la prima e realmente essenziale parte della assunzione di Carnot, e applicarla come secondo postulato in connessione con il precedente. Si vedrà immediatamente che questa procedura riceve molteplici conferme dalle sue “conseguenze.”

Frase che “suona” come: Tutto ciò che è stato finora detto non è abbastanza sicuro, per cui è bene che riceva numerose **conferme** dalle **conseguenze** che esso implica.

4.11 OSSERVAZIONE INCIDENTALALE SULLE “CONFERME” CHE UNA TEORIA PUÒ RICEVERE DALLE SUE “CONSEGUENZE”

Osserviamo, incidentalmente, che questo modo di procedere non corrisponde al Metodo Scientifico attualmente condiviso. Secondo questo metodo, infatti, una teoria, quale è l'elaborazione logico-matematica di CLAUSIUS, non può essere “confermata” dalle sue conseguenze, ma soltanto “smentita” da fatti sperimentali.

Inoltre, secondo l'attuale Metodo Scientifico, per elaborare una teoria relativamente ad un certo fenomeno fisico, è necessario iniziare una serie di osservazioni sperimentali.

Al contrario, nei ragionamenti di CLAUSIUS relativi alla dimostrazione del teorema di CARNOT non si scorge il riferimento a nessun *experimentum crucis*, ma si trovano solo parole.

“*Nullius in verba*” (vedi Figura 4.4), fu il motto scelto dalla Royal Society (prestigiosa Associazione Scientifica Britannica) al momento della sua fondazione, nel 1660, ben prima del 1850.



Fig. 4.4

Chiusa questa parentesi incidentale, cominciamo a osservare che i ragionamenti di CLAUSIUS svolti in questi tre blocchi si riferiscono soltanto a cicli di CARNOT (infinitesimali), quelli che CLAUSIUS ha rappresentato in Fig. 2 e 3, e non a fenomeni naturali.

Questa osservazione sarà utile nel seguito.

4.12 IL ROMPICAPO COSTITUITO DAI TRE BLOCCHI DELLA MEMORIA DI CLAUSIUS – I PRIMI TRE ERRORI

L'insieme dei tre Blocchi, a mio avviso, è un vero e proprio rompicapo. Vediamo perché.

Cerchiamo di capire, in primo luogo, in che cosa consista, veramente, la “limitazione” che due corpi a diversa temperatura non debbano mai venire in contatto diretto tra loro.

Sembra una limitazione superflua, perché è già rispettata dalle trasformazioni del ciclo di CARNOT al quale CLAUSIUS fa riferimento. Infatti, la prima e la seconda sostanza che CLAUSIUS pensa di utilizzare in un ciclo di CARNOT, scambiano calore con i corpi A e B durante le trasformazioni “isoterme”, ovvero quelle in cui la temperatura resta costante, e quindi non vi sono corpi a diversa temperatura che vengono in reciproco contatto. Anche durante le trasformazioni adiabatiche del ciclo di CARNOT non vi sono corpi a diversa temperatura in reciproco contatto.

L'unica spiegazione possibile, è che CLAUSIUS intendesse significare che i corpi A e B (gli unici che restano da considerare) debbano essere termicamente isolati in modo perfetto, sia tra loro che verso qualunque altro oggetto.

Mi sento di anticipare che, dal mio punto di vista, questa si rivelerà ben più di una “limitazione” ma si trasformerà in un vero e proprio “blocco” per lo sviluppo della teoria termodinamica.

Logicamente, a Voi, lettori del futuro, questo mio inciso appare assurdo e incomprensibile, ma vedremo se manterrete questo parere fino alla fine.

Torniamo alla nostra critica puntuale, notando che il ragionamento di CLAUSIUS del Primo Blocco contiene una palese contraddizione.

In verità, se si ammette che le due sostanze con le differenti proprietà indicate esistano e vengano impiegate nei processi ciclici menzionati, al termine dei due processi contrapposti si verifica certamente una trasmissione di calore dal corpo B (freddo) al corpo A (caldo) di entità complessivamente diversa da zero, come dice CLAUSIUS.

Però ciò determina anche un definitivo cambiamento nello stato dei corpi A e B , contrariamente alla convinzione di CLAUSIUS che i corpi A e B ritornino nel loro stato di origine.

Ricordiamo che lo “stato” di un corpo è definito dai valori delle sue variabili termodinamiche. Se un corpo riceve o perde calore, sia pure tramite una trasformazione isoterma, cambia stato.

CLAUSIUS non si accorge che il suo ragionamento contiene questo prima contraddizione Logica, e nelle successive memorie cercherà di eliminarla, attribuendo ai corpi A e B proprietà inesistenti in Natura, facendoli diventare “sorgenti (o riserve) di calore”, ovvero, come vedremo, corpi per i quali la dottrina dei calori latenti e specifici in generale non vale, ma si può applicare all'occorrenza.

CLAUSIUS prosegue nel suo ragionamento con il Secondo Blocco, in cui riconosciamo una dimostrazione per assurdo: Un ulteriore concetto che CLAUSIUS salva dai ragionamenti di CARNOT.

CLAUSIUS descrive tale dimostrazione per assurdo in modo notevolmente confuso, senza rispettare i canoni formali che si usano in Logica e Matematica per la dimostrazione di teoremi.

Mancano, infatti:

a) una chiara indicazione della tesi da dimostrare;

b) quale sia l'ipotesi;

c) quale l'assioma;

d) l'esplicita affermazione di ciò che sarebbe stato infine dimostrato.

È necessario, quindi, fare uno sforzo non indifferente per comprendere dapprima il significato che CLAUSIUS intendeva dare ad alcuni concetti contenuti nel Secondo Blocco, e poi il significato che noi possiamo dare a tali concetti dopo aver corretto i suoi errori.

I quesiti da risolvere sono i seguenti:

1) Quale significato voleva dare CLAUSIUS all'avverbio “ovunque” contenuto nella proposizione “... *il generale comportamento del calore, che ovunque mostra la tendenza ad annullare differenze di temperatura...*” ?

2) Secondo CLAUSIUS, che cosa diventerebbe contraddittorio, e quindi utile per la dimostrazione per assurdo se l'ipotesi fosse vera ?

3) Secondo CLAUSIUS, dove e come si dovrebbe verificare un “cambiamento” nel caso in cui l'ipotesi fosse vera ?

4) Quale è il significato complessivo del Secondo Blocco ?

Prima di tentare di risolvere detti quesiti, dobbiamo commentare il Terzo Blocco.

In questo Blocco si può rilevare quanto segue: Siccome nel Secondo Blocco manca l'esplicita dichiarazione di ciò che sarebbe stato infine dimostrato, ci si aspetterebbe di trovarlo affermato chiaramente nel Terzo Blocco.

Il Terzo Blocco contiene, al contrario, la già citata frase dubitativa (*Da ciò apparirebbe che siamo “teoricamente” giustificati nel mantenere la prima e essenziale parte delle assunzioni di Carnot ... Si vedrà immediatamente che questa procedura riceve molteplici conferme dalle sue conseguenze.*).

Non è possibile risparmiare la fatica di analizzare i tre Blocchi di cui sopra, per tentare di dipanare il rompicapo che essi costituiscono nel loro insieme, perché nelle successive memorie CLAUSIUS estrarrà il suo famoso assioma dal “proto-assioma” che è contenuto nella confusa e oscura proposizione di cui al Secondo Blocco.

CLAUSIUS è obbligato ad introdurre il citato proto-assioma come adattamento del precedente assioma di CARNOT, perché non riesce a trovare un metodo per adattare la teoria del calore ai nuovi dati sperimentali.

L'assioma che infine CLAUSIUS adotta è ancor oggi accettato e condiviso dalla Comunità Scientifica, e quindi è necessario tentare di comprendere il senso complessivo del discorso di CLAUSIUS sopra riportato.

Questo lavoro di analisi è reso ancora più complicato dal fatto che i ragionamenti di CLAUSIUS contengono errori di logica.

Pertanto, dopo aver tentato di comprendere ciò che veramente egli intendeva, è anche necessario tentare di comprendere come i suoi ragionamenti debbano essere modificati nel momento in cui i suoi errori vengono corretti.

Per quanto riguarda il quesito n. 2) di cui sopra, la ricerca di ciò che CLAUSIUS ritiene contraddittorio deve partire dalla considerazione che egli usa una dimostrazione per assurdo, e di conseguenza ciò che egli ritiene contraddittorio deve consistere nell'opposto delle sue conclusioni.

Vediamo allora quali sono le conclusioni che CLAUSIUS trae dai suoi ragionamenti e dove in realtà esse si trovino.

In genere, le conclusioni di una dimostrazione matematica vengono riportate al termine della dimostrazione stessa. Nella memoria di CLAUSIUS, come già detto, dopo il Secondo Blocco non troviamo

un'espressione che possa essere interpretata come “conclusione”. Nel Terzo Blocco, infatti, CLAUSIUS scrive, come già detto:

“Da ciò sembrerebbe di essere “teoricamente” giustificati nel conservare la prima e realmente essenziale parte della assunzione di Carnot, e applicarla come secondo postulato in connessione con il precedente. Si vedrà immediatamente che questa procedura riceve molteplici conferme dalle sue “conseguenze.”

Il Terzo Blocco, insomma, non sembra contenere la conclusione della dimostrazione per assurdo; sembra invece l'annuncio di una serie di verifiche per testare la validità di tutti i ragionamenti del Secondo Blocco.

In altre parole, la conclusione della dimostrazione per assurdo dobbiamo andare a ricercarla all'interno del Secondo Blocco, non nel Terzo Blocco.

Riassumendo, il Secondo Blocco contiene i seguenti concetti: Il nuovo proto-assioma; tesi; contraddizione, ma lascia sottintesa (o formalmente inespressa) la dimostrazione del suo teorema.

Ciò premesso, secondo CLAUSIUS, se esistessero due diversi gas in grado produrre rendimenti diversi, allorché impiegati in uno stesso ciclo si verificherebbe che:

“Il calore transita da un corpo freddo ad uno caldo ... senza l'intervento di alcuna forza o altro cambiamento.”

Per CLAUSIUS questa proposizione è una assurdità. Di conseguenza, poiché in una dimostrazione per assurdo la tesi è l'opposto dell'ipotesi, la tesi di CLAUSIUS, ovvero il suo proto-assioma, deve essere il seguente:

*“Il calore **NON** può transitare da un corpo freddo ad uno caldo ... senza l'intervento di alcuna forza o altro cambiamento.”*

Ora giungiamo al quesito n. 3: Il significato del termine “cambiamento” o “modificazione” utilizzato da CLAUSIUS nella sua prima memoria.

Se fosse vera l'ipotesi, per CLAUSIUS il calore passerebbe tutto al corpo caldo senza alcun “cambiamento” (che lo giustifichi - ndr).

Ma chiediamoci: C'è, secondo CLAUSIUS, un determinato luogo in cui detto cambiamento dovrebbe verificarsi, oppure la posizione di tale luogo sarebbe indifferente ?

CLAUSIUS non precisa nulla al riguardo, però dal suo ragionamento si può dedurre quanto segue: Se fosse vera l'ipotesi che esistono due fluidi che garantiscono rendimenti diversi, il “cambiamento” inteso da CLAUSIUS (e da noi tutti) non potrebbe riguardare i due fluidi (perché compiono un ciclo).

Detto cambiamento, secondo CLAUSIUS, non potrebbe riguardare neanche i corpi A e B, perché egli **ritiene** e afferma che essi tornano infine al loro stato originario.

Dunque, CLAUSIUS allude ad un “cambiamento” che non avviene dentro il sistema fisico da lui immaginato (composto solo dai cicli di CARNOT, i relativi fluidi, e i corpi A e B), ma in un imprecisato luogo, fuori comunque del sistema da lui ipotizzato.

Ma questa idea è diventata non-condivisibile per tutti coloro (non so quanti, oltre me) che si sono resi conto che nel Primo Blocco c'è un errore (PRIMO ERRORE): I corpi A e B **non tornano** al loro stato originario, e quindi subiscono un **cambiamento** del loro stato.

Dunque nel Secondo Blocco c'è un altro errore (SECONDO ERRORE): Il “cambiamento” invece ci sarebbe, e consisterebbe nel cambiamento dello stato che i corpi A e B subiscono.

Ora siamo consapevoli che nel Primo Blocco e nel Secondo Blocco vi sono due errori, con il primo errore che determina il secondo. Di

conseguenza, nel Secondo Blocco c'è anche un ulteriore errore (TERZO ERRORE).

Se, infatti, il proto-assioma è: *“Il calore non può transitare da un corpo freddo ad uno caldo ... senza l'intervento di alcuna forza o altro cambiamento”*, questa proposizione non è più utilizzabile nella dimostrazione per assurdo ideata da CLAUSIUS.

Infatti è vero che il calore transirebbe da un corpo freddo ad uno caldo, ma un “cambiamento” associato ci sarebbe: entrambi i corpi, *A* e *B*, non tornerebbero al loro stato originario.

Quindi il proto-assioma di CLAUSIUS non sarebbe violato e verrebbe a mancare la contraddizione che è indispensabile per la dimostrazione per assurdo.

Il terzo errore di CLAUSIUS consiste, quindi, nel ritenere che la dimostrazione per assurdo sia stata dimostrata grazie al suo proto-assioma, diventato, invece, inutile.

Ora che abbiamo individuato i tre errori sopra evidenziati, passiamo al quesito numero quattro di cui sopra: Il significato complessivo che CLAUSIUS attribuisce al Secondo Blocco, è uguale o diverso da quello che oggi gli si può dare ?

Per rispondere a questo quesito, chiediamoci ancora: È possibile modificare il Secondo Blocco in modo tale da terminare comunque la dimostrazione per assurdo ?

La risposta è no.

Non c'è più alcun modo di terminare la dimostrazione per assurdo ideata da CLAUSIUS, utilizzando il suo proto-assioma.

Viene a mancare, infatti, la contraddizione necessaria per utilizzare il principio del terzo escluso. Non si può più giungere al punto di produrre una contraddizione, perché il proto-assioma non trova più

riscontro nel sistema ideato da CLAUSIUS e non si può più “incastrare” nel suo ragionamento.

Con la consapevolezza di quanto abbiamo finora evidenziato, diventa evidente che si è creata una divergenza insanabile tra il significato che CLAUSIUS tentava di dare al Secondo Blocco, e quello che gli possiamo ora dare noi: Il Secondo Blocco ora non ha più alcun significato.

Pertanto, al giorno d'oggi possiamo finalmente affermare quanto segue:

- 1) Il proto-assioma di CLAUSIUS non è utile nella sua dimostrazione per assurdo;
- 2) La particolare dimostrazione matematica con la quale CLAUSIUS ha ritenuto di poter dimostrare il teorema di CARNOT esteso alla teoria dinamica, ovvero la tesi che il rendimento di una macchina termica di CARNOT non dipenda dal fluido impiegato ma solo dalle temperature, non è condivisibile.

Però, a scopo meramente speculativo, poniamoci la seguente domanda: Quale sarebbe il significato che CLAUSIUS intendeva dare a quella confusa proposizione di cui sopra, denominata “Secondo Blocco” ?

Mi piacerebbe credere che il significato inteso CLAUSIUS fosse il seguente:

Nei fenomeni naturali, l'esperienza mostra che il calore va sempre da corpi caldi a corpi freddi. Nel momento in cui non si considera più un fenomeno naturale, ma una macchina, se al termine dei processi che avvengono in tale macchina non sono intervenute altre forze e non si è verificato alcun altro “cambiamento”, la macchina stessa deve comportarsi come fosse un fenomeno naturale, e quindi essa non può determinare il complessivo spostamento di calore da un corpo freddo ad uno caldo, bensì solo il contrario.

Voglio chiarire subito che non condivido affatto tale significato; l'ho esposto solo nella speranza che qualcuno di Voi, lettori del futuro, possa dimostrare che era proprio questo il significato inteso da CLAUSIUS, perché tale interpretazione attenuerebbe un poco la gravità di quelli che ai miei occhi sono i suoi errori.

Purtroppo, esiste invece l'eventualità che il significato che CLAUSIUS intendeva dare a quella proposizione sia brutalmente il seguente:

Siccome il generale comportamento del calore è quello di fluire da corpi caldi a corpi freddi, non è possibile creare una macchina che sposti in continuazione calore da un corpo freddo ad uno più caldo, senza spendere alcuna forza e senza altro “cambiamento” associato.

Come già detto in precedenza, si deve ritenere che CLAUSIUS abbia avuto consapevolezza di aver introdotto, in questa prima memoria, gli errori che ho evidenziato in precedenza. Tuttavia egli deve aver avuto tale consapevolezza solo dopo la pubblicazione della memoria stessa.

CLAUSIUS aveva tre modi per rimediare. Il primo (il migliore), era quello di confessare l'errore mediante una apposita memoria. Il secondo (quello neutro) era quello di lasciar cadere il suo interesse per la materia. Il terzo (il peggiore) era quello di andare avanti, tentando di “mascherare” in qualche modo le parti sbagliate.

CLAUSIUS ha purtroppo scelto il terzo modo. Nelle successive memorie, infatti, egli ha ideato diversi “*escamotages*” per confermare la validità di tutti i concetti espressi nella prima memoria, “in primis”, la validità del suo proto-assioma e conseguentemente quella della sua teoria del calore.

Se andiamo ad analizzare approfonditamente le successive memorie di CLAUSIUS, possiamo infatti constatare che gli errori sopra

evidenziati restano sostanzialmente immutati, con la differenza che è molto più difficile individuarli. Vedremo tutto questo nel seguito.

Per ora, terminiamo l'analisi della prima memoria eseguendo anche un esame logico-matematico della dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS.

4.13 ESAME LOGICO-MATEMATICO DEL PRIMO RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

Tenendo presente le considerazioni fatte in un precedente capitolo, circa i criteri da rispettare per utilizzare il principio del terzo escluso, analizziamo con maggiore attenzione il ragionamento sviluppato da CLAUSIUS nella prima memoria.

Ricordiamo, innanzi tutto, che non abbiamo dato risposta al quesito n. 1) di cui sopra: Che cosa intenda CLAUSIUS per “il generale comportamento del calore”, e cosa intenda per “ovunque”.

Abbiamo già notato che CLAUSIUS è solito usare termini vaghi; “cambiamento” e “ovunque” sono dello stesso genere.

Semanticamente, infatti, “ovunque” è un avverbio di luogo privo di funzione assoluta, per cui dovrebbe essere seguito da un verbo. Nell'uso comune (non corretto) il verbo viene omissso e si dice “ovunque” per significare “dappertutto”.

Se CLAUSIUS intendeva significare che “il generale comportamento del calore” determina “dappertutto” l'annullamento delle differenze di temperatura, si potrebbe pensare che egli volesse limitare la teoria ai fenomeni naturali o, in altri termini, “ovunque” si verifichi un fenomeno naturale inanimato.

Tuttavia questa interpretazione contrasta con il fatto che il suo ragionamento riguarda solo cicli di CARNOT, che non sono certo fenomeni naturali.

Però è anche impensabile che uno Scienziato di livello così elevato come quello di CLAUSIUS, potesse commettere l'errore concettuale di sviluppare la teoria del calore limitandola alle sole macchine. Si è visto, infatti (e CLAUSIUS ne era bene al corrente), che il Metodo Scientifico riguarda esclusivamente fenomeni naturali, mai macchine; di queste si occupano gli ingegneri, non i fisici teorici.

Quindi bisogna accettare che con quel “dappertutto”, CLAUSIUS si riferisse sia ai fenomeni naturali inanimati, sia a quelli che si verificano nelle macchine di CARNOT.

CLAUSIUS, tuttavia, nella sua prima memoria non ha elaborato due distinte trattazioni - una per i fenomeni naturali inanimati, e un'altra per quelli che avvengono nei cicli di CARNOT, ma ha elaborato una sola trattazione per i cicli di CARNOT.

È vero che i fenomeni che avvengono in un ciclo di CARNOT sono fenomeni naturali inanimati, ma è anche vero (e CLAUSIUS ne era certamente al corrente) che qualunque macchina costruita dall'Uomo è in grado di produrre effetti che non si riscontrano in Natura. Basti pensare che nessuno ha mai osservato un fenomeno naturale che si ripeta ciclicamente, mentre la maggior parte delle macchine funziona in cicli ripetuti a non finire.

4.14 SUDDIVISIONE IN DUE VARIANTI DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

In applicazione del Metodo Scientifico, perfezioniamo i ragionamenti di CLAUSIUS contenuti nei tre Blocchi citati, introducendo la distinzione tra fenomeni naturali inanimati (non vitali) e fenomeni che avvengono nelle macchine (anche queste inanimate o non vitali).

Per fare ciò, dobbiamo sdoppiare il ragionamento di CLAUSIUS in due varianti, con la prima relativa soltanto a fenomeni naturali inanimati, mentre la seconda riferita solo al ciclo di CARNOT.

Con tali premesse, la prima variante della proposizione di CLAUSIUS contenuta nel Secondo Blocco diventa la seguente:

*“Ripetendo, in modo alternato due diversi processi **naturali inanimati**, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento, qualunque quantità di calore potrebbe essere trasmessa da un corpo freddo ad uno caldo; e ciò contraddice il generale comportamento del calore, che dovunque esibisce la tendenza ad annullare differenze di temperatura e quindi passa da corpi più caldi a corpi più freddi.”*

La seconda variante del Secondo Blocco, invece, resta praticamente la stessa e può essere espressa come segue:

*“Ripetendo in modo alternato **uno stesso ciclo di Carnot** **alternativamente con sostanze aventi proprietà diverse**, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento, qualunque quantità di calore potrebbe essere trasmessa da un corpo freddo ad uno caldo; e ciò contraddice il generale comportamento del calore, che dovunque esibisce la tendenza ad annullare differenze di temperatura e quindi passa da corpi più caldi a corpi più freddi.”*

4.15 ADATTAMENTO DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS ALLA PRIMA VARIANTE

Sviluppiamo la prima variante del ragionamento di CLAUSIUS.

Nella prima variante, si immagina un sistema naturale inanimato composto da due corpi, *A* e *B*, con temperature diverse (*A* caldo e *B* freddo); un primo fenomeno naturale inanimato che assorbe calore dal corpo caldo *A*, ne cede una parte al corpo freddo *B* e trasforma la differenza in energia meccanica; un “differente” fenomeno naturale

inanimato, contrapposto al primo, capace di assorbire tutta l'energia prodotta sotto quella particolare forma, utilizzandola per estrarre dal corpo *B* una maggior quantità di calore e riconsegnarla interamente di nuovo al corpo caldo *A*.

Ricordiamo che CLAUSIUS ha condensato in una sola proposizione sia la tesi (prima parte della proposizione), sia la dimostrazione per assurdo (... e ciò contraddice ...), con un affastellamento di concetti che confonde le idee.

Per comprendere fino in fondo la sua dimostrazione per assurdo consistente nella fumosa proposizione sopra ricordata, così da noi suddivisa in due varianti, prima di passare alle conclusioni dobbiamo semplificare il ragionamento di CLAUSIUS individuando dapprima esattamente la tesi, l'ipotesi e il numero dei casi possibili per poter verificare se il principio del terzo escluso sia utilizzabile.

La TESI per la prima variante è la seguente:

*“È impossibile che esista un sistema naturale inanimato composto da due corpi *A* e *B* con temperature diverse (*A* caldo e *B* freddo); un primo fenomeno naturale inanimato che assorbe calore dal corpo caldo *A*, ne cede una parte al corpo freddo *B* e trasforma la differenza in energia meccanica; un “differente” fenomeno naturale inanimato, contrapposto al primo, capace di assorbire tutta l'energia prodotta sotto quella particolare forma, utilizzandola per estrarre dal corpo *B* una maggior quantità di calore e cederla poi di nuovo al corpo caldo *A*.”*

L'ipotesi è l'opposto della tesi:

*IPOTESI: “Esiste un sistema composto da un sistema naturale inanimato composto da due corpi *A* e *B* con temperature diverse (*A* caldo e *B* freddo); un primo fenomeno naturale inanimato che assorbe calore dal corpo caldo *A*, ne cede una parte al corpo freddo *B* e trasforma la differenza in energia; un “differente” fenomeno*

naturale inanimato, contrapposto al primo, capace di assorbire tutta l'energia prodotta sotto quella particolare forma, utilizzandola per estrarre dal corpo B una maggior quantità di calore, e cederlo poi di nuovo al corpo caldo A.”

Al fine di verificare l'applicabilità del principio del terzo escluso, secondo i concetti espressi in un precedente Capitolo, vediamo quanti casi ci sono nella prima variante.

Il primo caso è che esista un sistema naturale del genere, mentre il secondo è che non esista. Ci sono solo due casi contrapposti, per cui l'utilizzazione del principio del terzo escluso è consentita.

L'assioma della conservazione dell'energia non può essere più invocato, perché la maggiore quantità di calore convogliata verso la sorgente sarebbe prelevata dal refrigeratore.

Invochiamo, pertanto, l'assioma di CLAUSIUS:

“Il calore non passa mai, spontaneamente, da un corpo freddo ad uno più caldo senza l'intervento di altre forze o provocando qualche cambiamento associato.”

Tale assioma è verosimile per gli eventi naturali, in quanto l'esperienza di secoli di osservazione di tali fenomeni non ha mai fatto osservare che il calore sia passato da un corpo freddo ad uno più caldo da solo; per realizzare ciò, quindi, ci vuole in intervento esterno.

Questa proposizione non scaturisce dal metodo induttivo; non viene come regola generale suggerita da una serie sistematica di esperimenti particolari. Al contrario, essa scaturisce dal Metodo Sperimentale grazie alla ultra-secolare osservazione del generale comportamento del calore.

Possiamo utilizzare detta proposizione nell'analisi della dimostrazione, perché è coerente e omogenea con il sistema fisico che stiamo considerando: L'abbiamo dedotta dal generale

comportamento dei sistemi naturali inanimati, e stiamo considerando, infatti, un sistema fisico naturale inanimato.

Dunque, la nostra proposizione è da considerare un vero e proprio assioma utilizzabile nello specifico settore in questione.

Troviamo una contraddizione tra due proposizioni: L'assioma di cui sopra, e l'ipotesi precedentemente formulata. La prima proposizione (l'assioma) è sicuramente vera per definizione di assioma. La seconda è solo un'ipotesi e quindi, essendo l'unica restante (*tertium non datur*), deve essere errata. Di conseguenza, la tesi (l'opposto dell'ipotesi) è vera: Non esiste alcun sistema naturale e inanimato del genere.

L'insieme dei ragionamenti esposti nel presente paragrafo possono sembrare di nessuna rilevanza, dato che avremmo semplicemente dimostrato una verità già contenuta nell'assioma: Una tautologia.

L'utilità dei ragionamenti sopra esposti consiste, invece, nell'aver stabilito dei criteri per dipanare la confusa dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS; criteri che possiamo nuovamente applicare per analizzare la Seconda Variante.

4.16 IL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS ADATTATO ALLA SECONDA VARIANTE - ULTERIORE MOTIVO DI NON-CONDIVISIBILITA' DELLA DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS DEL TEOREMA DI CARNOT

Passiamo alla seconda variante del ragionamento di CLAUSIUS; ora i fenomeni avvengono soltanto in macchine a ciclo di CARNOT, ma con due sostanze aventi proprietà diverse. In questa seconda variante, il Secondo Blocco di cui sopra diventa (o resta):

“Ripetendo entrambi questi processi alternanti con sole macchine di CARNOT, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento, qualunque quantità di calore potrebbe essere trasmessa da un corpo

freddo ad uno caldo; e ciò contraddice il generale comportamento del calore, che dovunque esibisce la tendenza ad annullare differenze di temperatura e quindi passa da corpi più caldi a corpi più freddi.”

Dipaniamo anche questo confuso ragionamento per adattarlo alla seconda variante, e comprendere se la dimostrazione per assurdo sia ora utilizzabile.

La TESI da dimostrare sarebbe la seguente:

*“**Non può esistere un sistema artificiale composto da una prima sostanza impiegata in una macchina di CARNOT, che assorbe calore da un corpo caldo A, cede una parte del calore ad un corpo freddo B e trasforma la differenza in lavoro meccanico, e da una seconda sostanza che, impiegata nella stessa una macchina di CARNOT a funzionamento invertito, che consenta di assorbire totalmente quel lavoro prodotto, utilizzandolo per estrarre dal corpo freddo B una maggiore quantità di calore e trasferirlo di nuovo al corpo calda A.**”*

Qualora fosse possibile dimostrare tale tesi, ne conseguirebbe immediatamente la dimostrazione del teorema di CARNOT esteso alla teoria dinamica del calore.

L'ipotesi la assumiamo come l'opposto della tesi:

IPOTESI:

*“**Esiste un sistema artificiale composto da una prima sostanza impiegata in una macchina di CARNOT, che assorbe calore da un corpo caldo A, cede una parte del calore ad un corpo freddo B e trasforma la differenza in lavoro meccanico, e da una seconda sostanza che, impiegata nella stessa una macchina di CARNOT a funzionamento invertito, che consenta di assorbire totalmente quel lavoro prodotto, utilizzandolo per estrarre dal corpo freddo B una**”*

maggior quantità di calore e trasferirlo di nuovo al corpo caldo A.”

Può sembrare che i casi possibili in questa Seconda Variante siano ancora solo due; Il primo è che il citato fluido esista, il secondo è che non esista.

Vedremo, invece, che il numero dei possibili casi è tre, non due.

Ma proseguiamo la nostra ricostruzione.

Per coerenza con la Prima Variante, dobbiamo mantenere inalterato il proto-assioma di CLAUSIUS, ovvero:

“Il calore non può passare da un corpo freddo ad uno più caldo senza l'intervento di altre forze o con qualche altro cambiamento associato.”

Potrebbe sembrare che questa situazione sia analoga a quella del teorema di CARNOT nella teoria del Calorico, quando l'assioma della conservazione dell'energia, derivato dall'esperienza, consentiva di discriminare tra due soli possibili ed opposti casi. In questa Variante, però, la situazione è completamente diversa, per due motivi.

Il primo motivo è che il ora proto-assioma di CLAUSIUS non può essere utilizzato nella dimostrazione per assurdo. Questo accade per una ragione diversa da quella individuata nel capitolo precedente, in relazione alla medesima dimostrazione per assurdo (ricordiamo il cambiamento dellodei corpi A e B).

Il nuovo motivo di inapplicabilità del proto-assioma di CLAUSIUS nella sua dimostrazione per assurdo, è connesso alla concettuale impossibilità di utilizzare gli assiomi relativi ad un certo sistema fisico per sistemi fisici completamente diversi.

Nella Seconda Variante di cui sopra, non sono in considerazione semplici fenomeni naturali macroscopici inanimati, bensì una

macchina che, per definizione, comprende diversi fenomeni fisici naturali non animati **coordinati tra loro temporalmente e spazialmente in cicli ripetitivi**.

È l'insieme di tali proprietà di una generica macchina, che non può trovare alcun riscontro in nessun sistema naturale macroscopico inanimato. Una di queste caratteristiche contraddistingue nettamente le macchine dai fenomeni naturali inanimati: La Ciclicità: le macchine termiche, come il ciclo di CARNOT, sono cicliche mentre i fenomeni naturali inanimati sono tutti aperiodici.

Insomma, la tipologia dei fenomeni fisici ai quali è applicabile il proto-assioma di CLAUSIUS, non è omogenea con quella dei fenomeni fisici che avvengono nelle macchine.

L'idea che un assioma che è stato indotto nella mente umana da secoli di osservazione di fenomeni naturali inanimati non ciclici, possa anche valere per una macchina ciclica, si pone al di fuori del Metodo Scientifico e non può che essere scartata.

4.17 ESERCIZIO PER I LETTORI

Individuare un fenomeno Naturale Inanimato perfettamente ciclico o periodico, restando nel campo macroscopico della fisica classica, ove può valere una qualunque teoria termodinamica, senza sconfinare nel mondo microscopico ove teorie del genere non possono più valere.

4.18 DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER LA DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS

Passiamo ora a verificare quale sia il numero dei possibili casi, per un certo ciclo reversibile eseguito da cicli di CARNOT alternativamente con due sostanze diverse.

In linea di principio, se dapprima abbiamo utilizzato un certo gas ottenendo un certo rendimento, e ora utilizziamo un'altra sostanza, non possiamo sapere se ora il rendimento è maggiore, uguale o anche minore rispetto a prima.

Abbiamo quindi tre casi possibili.

Poiché abbiamo assunto come ipotesi che la nuova sostanza assicuri un rendimento “**maggiore**” rispetto al gas, utilizzando il principio del terzo escluso compiamo l'operazione di accorpate i due restati casi (rendimento uguale e rendimento minore) in un unico caso da contrapporre all'ipotesi.

Nel momento in cui scopriamo che l'ipotesi è assurda, dimostriamo che la nuova sostanza non può assicurare un rendimento maggiore rispetto al gas, per cui, in base al principio del terzo escluso, possiamo concludere che tale sostanza consente ad un ciclo reversibile di determinare un rendimento minore o **anche uguale** (non solo minore) rispetto al gas.

4.19 CONCLUSIONI SULL'ANALISI DELLA PRIMA MEMORIA DI CLAUSIUS

È arrivato il momento di fare un riassunto di quanto abbiamo rilevato nelle due Sezioni della prima memoria di CLAUSIUS.

Nella prima Sezione, abbiamo assistito all'impostazione in forma matematica del Primo Principio della termodinamica, verso la quale non vi è alcuna obiezione.

Nella Seconda Sezione, in relazione all'ipotesi di CLAUSIUS che la macchina irreversibile possa assicurare un rendimento **superiore** rispetto a quella reversibile, in cui egli tenta di salvare tutte le intuizioni di CARNOT tranne una (il calore non si consuma), abbiamo riscontrato i seguenti problemi:

- 1) La contraddizione Logica di una proposizione che dapprima sostiene che i corpi A e B tornano al loro stato originario, mentre subito dopo sostiene l'opposto;
- 2) Possiamo quindi affermare che è errata l'affermazione di CLAUSIUS che non ci sarebbe alcun cambiamento se l'ipotesi fosse vera;
- 3) Ciò determina un primo motivo per cui il citato proto-assioma non consente di portare a termine la dimostrazione del teorema di CARNOT;
- 4) L'analisi logico-matematica della dimostrazione di CLAUSIUS del teorema di CARNOT, consente di impiegare il suo proto-assioma, ma solo nella versione relativa ai fenomeni naturali macroscopici inanimati, non nel caso di cicli termodinamici come il ciclo di CARNOT;
- 5) Ciò determina un secondo motivo per cui il proto-assioma di CLAUSIUS non consente di portare a termine la dimostrazione per assurdo del teorema di CARNOT.

4.20 TIPOLOGIE DI MACCHINE A MOTO PERPETUO

Nei capitoli precedenti si è fatto riferimento al “moto perpetuo”. È giunto il momento di tentare di fare chiarezza su tale concetto, poiché le idee al riguardo sono in genere piuttosto confuse.

Al giorno d'oggi, sono note tre specie di moto perpetuo: Prima Specie; Seconda Specie e Terza Specie. Esse si distinguono in relazione alle violazioni dei "principi fisici" fondamentali che la loro esistenza comporterebbe. Questi principi sono:

- A) Il generale principio di conservazione dell'energia;
- B) Il primo principio della termodinamica;

C) Il principio della impossibilità di sfruttare completamente le sorgenti di calore, o Secondo Principio della termodinamica.

Il moto perpetuo di prima specie creerebbe energia dal nulla; in termini più grossolani, sarebbe costituito da macchine con rendimento maggiore del 100%, capaci di produrre più energia di quella che ricevono, se non addirittura macchine che forniscono lavoro senza alcuna forma di energia in ingresso.

Il moto perpetuo di prima specie può essere ulteriormente classificato in diversi modi, a seconda del sistema fisico coinvolto. Ad esempio, se il sistema fisico considerato è puramente meccanico o elettromagnetico, allora si può dire che questo moto perpetuo violerebbe il generale principio di conservazione dell'energia.

Se il sistema fisico considerato è termico, allora il moto perpetuo di prima specie violerebbe il primo principio della termodinamica. Tale moto perpetuo sarebbe arrestato, prima o poi, anche dalla più minuscola presenza di fenomeni dissipativi al suo interno.

Il moto perpetuo di seconda specie riguarda soltanto le macchine termiche. Esso non violerebbe il principio di conservazione dell'energia termica (o Primo Principio della termodinamica), ma soltanto il Secondo Principio della Termodinamica.

Violando tale principio, sarebbe possibile convertire in lavoro tutto il calore estratto da una sola sorgente

La macchina che riuscisse a violare il Secondo Principio della Termodinamica, avrebbe un rendimento esattamente pari al 100%.

Una tale macchina potrebbe ottenere energia da quel serbatoio naturale di energia meccanica che è l'ambiente, in quanto esso è costituito dalla somma di tutti i suoi atomi e molecole, i quali sono dotati di moti caotici e perenni determinati solo dalla temperatura (vedi “moti Browniani”).

Il moto perpetuo di seconda specie riuscirebbe a sfruttare tali energie incoerenti, sommandole e convertendole in energia meccanica coerente, come ad esempio quella di un pistone che si muove alternativamente, o un albero di trasmissione che gira.

Come vedremo nel seguito, un moto perpetuo di seconda specie non sarebbe sempre arrestato dalla presenza di fenomeni dissipativi interni, ma ciò si potrebbe verificare solo se tali fenomeni fossero di misura eccessiva.

Il moto perpetuo di terza specie non violerebbe alcun principio fisico, non potrebbe creare energia dal nulla e neppure sfruttare completamente una sola sorgente di calore.

Esempi di moto perpetuo di terza specie possono essere un pendolo, una trottola o un qualunque dispositivo inerziale. La trottola, ad esempio, in assenza di qualunque fenomeno di attrito, una volta posta in movimento continuerebbe a girare per un tempo infinito. Un altro esempio è quello di un pianeta in rotazione attorno al sole, qualora non esistessero fenomeni cosmici in grado di rallentare la sua velocità orbitale.

Pertanto, un moto perpetuo di terza specie non sarebbe in grado di fornire energia in modo illimitato; una volta che si iniziasse a sfruttarne il suo moto, ovvero se fossero presenti fenomeni dissipativi, l'energia che lo ha messo e poi mantenuto in moto diminuirebbe fino ad esaurirsi, e a tal punto esso si fermerebbe.

Concentriamo quindi la nostra attenzione sul moto perpetuo di seconda specie, per il quale sorgono alcune perplessità.

La prima è la seguente. Abbiamo visto che quando si è affermata la teoria dinamica del calore, si è capito che il calore è la forma in cui l'agitazione meccanica delle più minute componenti della materia (atomi e molecole) si manifesta per noi umani (a livello macroscopico).

Il calore è dunque una forma di movimento meccanico, ma i dispositivi meccanici sono in grado di convertire, una nell'altra, varie forme di energia meccanica con perdite minime, al limite nulle se si immagina che tutto sia perfetto.

Ad esempio, una massa sospesa nella forza di gravità (un peso) possiede una certa energia potenziale. Se si lascia cadere questo peso in assenza di qualunque attrito o freno, tutta questa energia potenziale si trasforma in energia cinetica. Come abbiamo già osservato, si potrebbe dire che i sistemi meccanici ideali, o perfetti, hanno normalmente un rendimento pari al 100%, o rendimento unitario, mentre quelli reali possono superare il 90%.

Ciò premesso, dato che il calore è una forma di energia meccanica, allora anche le macchine termiche perfette potrebbero (o dovrebbero) avere un rendimento del 100%, o rendimento uguale a uno, mentre le macchine termiche reali dovrebbero superare il 90% di rendimento.

È a questo punto che sorge la prima perplessità, perché la teoria termodinamica attualmente condivisa dalla Comunità Scientifica nega tutto ciò, e afferma, al contrario, che le macchine termiche “ideali” devono avere un rendimento ben più basso del 100%, con un valore massimo per le macchine reali che, in pratica, raramente supera il 50%.

La seconda perplessità di cui sopra è legata alla seguente osservazione.

Come abbiamo accennato in precedenza, il concetto di moto perpetuo ha subito un enorme cambiamento nel momento in cui è stato necessario abbandonare la teoria del Calorico. Il moto perpetuo immaginato da CARNOT nella teoria del Calorico, corrispondeva esattamente al moto perpetuo di prima specie che molti inventori della sua epoca tentavano di creare con dispositivi meccanici.

Infatti in quel tempo il Calorico era considerato non consumabile, quando transitava da un corpo caldo a uno freddo tramite una macchina termica. Il calore era considerato una forma di energia conservativa che, in quanto tale, non poteva essere diminuito ma neppure aumentato in quantità.

In quel tempo, pertanto, ammettere l'idea che macchine termiche potessero creare un moto perpetuo, significava ammettere che l'energia (il Calorico) si potesse creare dal nulla.

Nell'ambito della teoria del Calorico, la negazione del moto perpetuo, che scaturiva dal postulato di conservazione dell'energia, costituiva un ottimo caposaldo per sviluppare la teoria del calore.

Infatti CARNOT ha potuto impostare un sorta di teoria del calore utilizzando la dimostrazione per assurdo, in cui l'”assurdità” consisteva proprio nel moto perpetuo tout-court.

Quando fu dimostrato che il calore si poteva consumare, non fu più possibile invocare la negazione di quel tipo di moto perpetuo per adeguare la teoria del Calorico alla nuova realtà fisica.

Ma come si è visto nei capitoli precedenti, i principali successori di CARNOT, cioè CLAPEYRON, KELVIN e CLAUSIUS, vollero continuare ad utilizzare la stessa tecnica di dimostrazione per assurdo introdotta da CARNOT.

Però, non potendo più invocare l'assurdità del moto perpetuo tout-court, essi hanno avuto bisogno di inventare una nuova tipologia di moto perpetuo. Così infatti avvenne, e il nuovo tipo di moto perpetuo fu in seguito chiamato “moto perpetuo di seconda specie”, per distinguerlo dal primo.

Ma c'era ancora un problema da superare: Il moto perpetuo di seconda specie non sarebbe in grado di creare energia dal nulla, e allora ecco la seconda perplessità: Perché sarebbe assurda l'idea che il moto perpetuo di seconda specie possa esistere ?

La risposta che fu data è in pratica la seguente: Se il moto perpetuo di seconda specie esistesse, consentirebbe di ottenere energia in quantità illimitata senza alcuna “spesa”. Questo concetto venne tacitamente introdotto da KELVIN e CLAUSIUS, ma fu poi esplicitato da Wilhelm Ostwald e finalmente venne accettato dalla Comunità Scientifica.

Una importante proprietà di una generica Macchina Termodinamica Perfetta (MTP), è costituita dal fatto che essa potrebbe funzionare anche se all'interno vi fossero dei processi di attrito o resistenze passive.

Questa conclusione si può facilmente dedurre con il seguente ragionamento.

Attriti o fenomeni di viscosità producono calore, ma se la quantità di calore prodotto internamente per attrito fosse inferiore alla quantità di lavoro che il sistema ideale (senza attriti) fosse in grado di produrre, questo fatto non farebbe altro che diminuire di una pari misura la quantità di calore che il sistema potrebbe assorbire dall'ambiente.

In altre parole, se una certa percentuale del lavoro massimo che la macchina fosse in grado di produrre in condizioni ideali venisse perduta in attriti interni, ne conseguirebbe la produzione di un minor lavoro utile, in quanto mancante della frazione consumata internamente, e la MTP si arresterebbe solo se detta percentuale diventasse il 100 %.

4.21 LA MACCHINA DI OSTWALD

Wilhelm Ostwald (1853–1932) fu un famoso chimico tedesco, noto anche per aver meritato il Premio Nobel per la Chimica nel 1909. Nel 1908 OSTWALD pubblica il libro “*Die Energie*”, Ed. Verlag Von Johann Ambrosius Barth (Lepzig). Questa opera fu tradotta in

Francese e pubblicata a Parigi da F. Alcan nel 1910. Tale ultima pubblicazione è rintracciabile presso il seguente sito web:

www.gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k654909/f1.item

Da tale edizione, estraiamo un passaggio riportato a p. 148-149, in cui OSTWALD esprimeva i seguenti concetti:

“Se il principio di Carnot non fosse giusto, e fosse possibile costruire due macchine termiche perfette aventi rendimenti diversi, si potrebbe accoppiare queste due macchine in modo tale che una quantità di calore qualunque sarebbe trasportata dalla temperatura inferiore alla temperatura superiore, ed ottenere anche una quantità di lavoro grande a piacere. Questo lavoro non sarebbe creato “ex nihilo”; esso comporterebbe il consumo di un corrispondente calore. Ma questo calore potrebbe essere prelevato dall'ambiente in quantità qualsiasi, poiché la nostra coppia di macchine trasporta il calore a volontà da una temperatura inferiore ad una superiore senza alcuna spesa.

Noi avremmo dunque una macchina che, senza contraddire il primo principio, contraddirebbe il secondo, e che avrebbe assolutamente il valore pratico di una macchina in grado di produrre il moto perpetuo. Essa non otterrebbe, è vero, il lavoro dal nulla, ma otterrebbe un calore senza valore, che si rinnoverebbe senza sosta in seguito al consumo del lavoro ottenuto. L'esperienza mostra che una macchina produttrice il moto perpetuo di tal tipo è ugualmente impossibile. Ad una tale macchina si dà il nome di macchina di seconda specie a moto perpetuo poiché essa contraddice il secondo principio e per distinguerla da una macchina che contraddica il primo principio, che è denominata macchina di prima specie. Dicendo che una macchina di seconda specie è impossibile, si esprime dunque ciò che vi è di essenziale nel secondo principio.”

OSTWALD descriveva, ancora una volta, l'accoppiamento di due macchine antagoniste con diverso rendimento, per negarne, ancora una volta, il funzionamento complessivo.

Da questo stralcio, possiamo constatare che un grande Scienziato come OSTWALD, ripeteva esattamente le stesse idee espresse sessanta anni prima da KELVIN e CLAUSIUS.

In poche parole, la Scienza aveva acquisito i seguenti concetti:

1. Le principali idee di CARNOT sono valide anche nella teoria dinamica, per cui:
2. Il rendimento di una macchina ciclica non dipende dal fluido impiegato;
3. Il rendimento dipende soltanto dalle temperature di funzionamento (mai una, non meno di due);
4. La dimostrazione per assurdo può essere utilizzata in fisica senza particolari restrizioni o speciali precauzioni;
5. La conduzione diretta di calore è assolutamente da evitare nelle macchine termiche;
6. Il “massimo” rendimento ottenibile da una macchina termica si ha soltanto quando le variazioni di temperatura avvengono a causa di variazioni di volume;
7. Tale “massimo” rendimento si ha quando le variazioni di temperatura che il fluido subisce durante le variazioni di volume, avvengono con differenze di temperatura infinitesimali dei “corpi” che scambiano calore;
8. Tutte le macchine reversibili hanno il medesimo rendimento massimo a parità di temperature di funzionamento;
9. Il moto perpetuo di seconda specie è equiparabile al moto perpetuo di prima specie, quindi entrambi non possono essere

realizzati perché essi garantirebbero energia illimitata senza alcuna “spesa”.

Al riguardo, ho tre osservazioni.

1. La prima osservazione è che le "esperienze" di cui parlava Ostwald in realtà non esistono. Se tali esperimenti fossero effettivamente stati compiuti da Scienziati con due macchine termiche contrapposte, OSTWALD avrebbe avuto l'obbligo di citare esattamente i loro nomi.
2. In realtà, nessuno Scienziato aveva mai tentato di costruire materialmente una macchina a moto perpetuo di seconda specie, utilizzando due macchine termiche contrapposte. Pertanto, è logico concludere che OSTWALD si riferisse, implicitamente, a tutta quella massa di tentativi non scientifici dovuti a inventori più o meno sprovveduti e visionari che, a quanto risulta (“*Air Engines*”, by T. Finkelstein, Ph.D., D.I.C., B.Sc., A. M. I. Mech. E.*, *The Engineer* [journal], March 27th 1959, p. 492) nel 19° secolo si dedicavano per diletto alla ricerca del moto perpetuo.

Nei moderni libri didattici di Termodinamica è frequente, in relazione al Secondo Principio della Termodinamica, riscontrare il riferimento al fallimento di innominati “tentativi” di realizzare il moto perpetuo di seconda specie. Nessuno degli autori di tali libri sembra rendersi conto che non dire nulla sui dettagli e svolgimento di tali tentativi, e tacere i nomi degli autori, non è accettabile dal punto di vista scientifico.

2) La mia seconda osservazione è che gli autori di tali libri, seguaci del pensiero di OSTWALD, sembrano non rendersi conto che affermare che il fallimento di “esperimenti” tesi a realizzare il moto perpetuo di seconda specie giustifichi il Secondo Principio della Termodinamica, significhi utilizzare il metodo deduttivo. Come si è

visto nel Capitolo 2, il metodo deduttivo, che non è scientificamente accettabile, consiste nel dedurre una regola generale da una serie di comportamenti particolari.

3) La mia terza osservazione è che gli autori di tali affermazioni sembrano non rendersi conto di operare anche una degenerazione del “metodo deduttivo”, che pure inavvertitamente essi invocano. Essi realizzano tale degenerazione in due modi.

La prima, deriva dal fatto che il metodo deduttivo dovrebbe riferirsi a eventi che “si verificano”, mentre il ragionamento di OSTWALD, e di tutti gli altri autori, si riferisce a eventi che “non” si sarebbero mai verificati.

La seconda forma di degenerazione deriva dal fatto che tali eventi non riguarderebbero trasformazioni Naturali (come sarebbe giusto dal punto di vista scientifico), bensì macchine che non hanno funzionato secondo le intenzioni dei progettisti.

4.22 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che le tre precedenti osservazioni dell'autore sono errate.

4.23 IL MOTO PERPETUO DI SECONDA SPECIE E I FENOMENI NATURALI

In relazione al moto perpetuo di seconda specie, è arrivato il momento di notare che la Comunità Scientifica pone una relazione tra questo tipo di moto perpetuo e l'inversione spontanea di fenomeni naturali che, come è noto, sono considerati irreversibili.

Secondo i concetti attualmente condivisi, soltanto l'inversione spontanea di fenomeni fisici reali potrebbe, teoricamente, violare il Secondo Principio della Termodinamica. I fisici teorici sono interessati a ricercare le cause della pratica impossibilità che una

trasformazione reale possa evolversi spontaneamente in direzione contraria a quella che di fatto si verifica.

Ciò che risulta particolarmente difficile da spiegare, è il motivo per cui i fenomeni termodinamici naturali abbiano un verso di percorrenza privilegiato (la cosiddetta “freccia del tempo”), nonostante il fatto che, al livello microscopico, i fenomeni di urto tra molecole abbiano uguali probabilità di svolgersi in entrambi i versi di percorrenza.

Pensiamo a ciò che accade quando due corpi a diversa temperatura vengono in contatto, ed immaginiamo che questo fenomeno si svolga in senso inverso.

Immaginiamo, ad esempio, un corpo in cui, grazie alla uguale probabilità che gli urti molecolari microscopici possano procedere in un verso o nel verso opposto, ad un certo punto una certa parte di esso inizi spontaneamente a diventare più calda, mentre un'altra parte diventa più fredda senza l'intervento di agenti esterni.

Nella concezione attuale, questa ipotetica inversione produrrebbe una violazione del Secondo Principio della Termodinamica. Essa, però, non è ritenuta impossibile, solo estremamente improbabile.

Si ritiene che la probabilità che una tale inversione possa spontaneamente verificarsi, ancorché non sia spiegata teoricamente, sia equivalente alla probabilità di violare il Secondo Principio della Termodinamica.

Queste considerazioni servono a mostrare che, secondo ciò che si crede al giorno d'oggi, la possibilità che il Secondo Principio della Termodinamica sia violato, è affidata soltanto all'inverosimile evenienza che un fenomeno termodinamico reale possa spontaneamente invertirsi. Se a ciò si aggiunge che, in base ai teoremi sviluppati da KELVIN e CLAUSIUS, nessuna macchina termica potrebbe violare il Secondo Principio della Termodinamica,

si deve necessariamente concludere che, nel comune senso di intendere, il Secondo Principio della Termodinamica è ritenuto praticamente inviolabile.

4.24 SECONDA MEMORIA DI KELVIN SULLA TEORIA DEL CALORE

Dopo la pubblicazione nel 1850 della prima memoria di CLAUSIUS, finalmente KELVIN vince la ritrosia che lo aveva trattenuto dall'ammettere che la teoria del Calorico è in contrasto con l'esperienza. Nel 1851, KELVIN pubblica una memoria intitolata “*On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr. Joule's equivalent of thermal unit, and M. Regnault's observations on steam*”, (Transactions of the Royal Society of Edinburg, March, 1851 and Phil. Mag. IV, 1852)

Tale memoria è rintracciabile al seguente indirizzo web :

<https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/kelvin1851.pdf>

Un aspetto che sicuramente sconcerta, in questa memoria, è costituito dalla citazione di un esperimento del chimico Sir Humphry Davy (1778-1829) proprio nella Nota Introduttiva, poiché tale fatto mostra che, in meno di due anni, KELVIN passa dalla prudenza che lo caratterizzava nella prima memoria (1849) nell'abbandonare la teoria del Calorico, alla celebrazione di DAVY quale antesignano della nuova teoria dinamica del calore. DAVY, infatti, è autore di un semplice esperimento, risalente addirittura a cinquanta anni prima (1799), con il quale dimostrò l'erroneità della teoria del Calorico.

In questa memoria, KELVIN elenca anche i lavori sperimentali di altri autori, quali MAYER e JOULE, che sono coerenti soltanto con la teoria dinamica del calore – lavori che pur essendo noti a KELVIN quando pubblicò la prima memoria (1849), non furono sufficienti a convincerlo della erroneità della teoria del Calorico.

Quali fatti si sono verificati tra il 1849 e il 1851 che hanno convinto KELVIN a cambiare idea ?

Forse la pubblicazione dei più recenti lavori di William John Macquorn Rankine (1820-1872) e CLAUSIUS sulla teoria dinamica, che KELVIN cita a pagina 174 (Introductory Notice) ?

Un secondo aspetto per me sconcertante della seconda memoria di KELVIN, è che egli non mostra di aver rilevato, nella memoria di CLAUSIUS, nessuna delle incongruenze che sono state poste in evidenza nel Capitolo precedente.

Al contrario, KELVIN loda CLAUSIUS riconoscendogli alcune priorità.

Anche KELVIN, come CLAUSIUS prima di lui, dichiara di trarre ispirazione dal lavoro di CARNOT, e si pone il compito di salvare, nella teoria dinamica, le conclusioni di CARNOT circa il massimo rendimento delle macchine termiche.

Mentre CLAUSIUS si era limitato a considerare soltanto cicli di CARNOT infinitesimali, Kelvin ha la pretesa di estendere la validità della teoria a qualunque ciclo “reversibile”.

Dopo la sua Nota Introduttiva, KELVIN prosegue la memoria esponendo la “Part I”, in cui considera il Primo Principio della termodinamica.

L'esame completo di questa “Part I” è privo di interesse per il presente lavoro, con l'eccezione dei Punti 7., 8., e 9. (p. 177-178), in cui KELVIN introduce ciò che egli considera “convenzioni”. Una di queste convenzioni, particolarmente importante ai fini del presente lavoro di critica e revisione, la troviamo al Punto 8. (p. 178):

“8. Si supporrà sempre che la “sorgente di calore” sia un corpo caldo a una temperatura costante, messo in contatto con qualche parte della macchina; e quando si deve impedire che una qualunque parte della macchina salga di temperatura (cosa che può essere

fatta solo per estrarre un certo calore depositato in essa), si supporrà che ciò venga fatto ponendo un corpo freddo, che sarà chiamato il refrigeratore, ad una temperatura costante in contatto con essa.”.

Facciamo attenzione alla proposizione: “Si supporrà sempre che la <sorgente di calore> sia un corpo caldo...”; ci torneremo nel seguito.

Proseguendo nell'esame della memoria di KELVIN, vediamo che al punto 9. egli scrive (p. 178-179):

“9. L'intera teoria della potenza motrice del calore è fondata sulle due proposizioni seguenti, dovute rispettivamente a Joule, e a Carnot e CLAUSIUS.

Prop. I. (Joule) - Quando quantità uguali di effetto meccanico sono prodotte da un mezzo qualsiasi da sorgenti puramente termiche, oppure perdute in effetti puramente termici, quantità uguali di calore sono fatte scomparire oppure sono generate.

Proposizione II. (Carnot e CLAUSIUS). - Se una macchina è tale, che quando è fatta funzionare in senso inverso, gli agenti fisici e meccanici sono invertiti in ogni parte del suo movimento, essa produce tanto effetto meccanico quanto ne può essere prodotto da qualsiasi macchina termodinamica, con le stesse temperature di sorgente e refrigeratore, da una data quantità di calore.”

(omissis).

10. Si può mostrare che la proposizione precedente (la Proposizione I – n.d.r.) è inclusa nel generale “principio di effetto meccanico”, ed è perciò instaurata al di là di ogni dubbio dalla dimostrazione seguente:

(omissis);

12. La dimostrazione della seconda proposizione (Proposizione II – n.d.r.) è fondata sul seguente assioma: - È impossibile, per mezzo di

*agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti (Nota *).”*

Segue la Nota * a piè di pagina (Pag. 179) in cui KELVIN scrive:

*“ * Se questo **“assioma”** non fosse valido per tutte le temperature, si dovrebbe ammettere che una macchina autonoma potrebbe essere messa in funzione e produrre effetto meccanico tramite il raffreddamento del mare o della terra, senza nessun limite salvo quello della totale fuoriuscita di calore dalla terra e dal mare, o, in realtà, dall'intero mondo materiale”.*

Notiamo, incidentalmente, che la proposizione contenuta nella Nota (*) è una dimostrazione per assurdo basata sull'assioma (non dichiarato, ma espresso implicitamente) che sia impossibile costruire quella particolare macchina termica.

In sostanza, l'assioma di KELVIN è basato sul concetto intuitivo che sia impossibile ottenere un lavoro meccanico estraendo il calore necessario da un solo corpo a temperatura uniforme.

Ponendo alla base della teoria questo concetto, KELVIN ne limita la generalità, poiché diventa impossibile considerare il caso di un sistema che inizialmente si trova a temperatura uniforme, in cui una zona a temperatura inferiore si crea al suo interno e si mantiene da sola, se all'interno di tale sistema vi sono due macchine termodinamiche che vengono fatte funzionare in contrapposizione.

4.25 TENTATIVO DI KELVIN DI DARE UNA DIMOSTRAZIONE GENERALE DELLA SECONDA PROPOSIZIONE

Abbiamo visto che, a Pagina 178 - Punto 9., KELVIN afferma che l'intera teoria della potenza motrice del calore è fondata su due

proposizioni, di cui la prima, Prop I, è dovuta a JOULE, mentre la seconda, Prop II, è dovuta a CARNOT e CLAUSIUS.

KELVIN sembra non accontentarsi del fatto che la Prop. II sia dovuta a CLAUSIUS, poiché afferma che la dimostrazione della Prop. II è fondata sul seguente “**assioma**” da lui ideato, che nel seguito indicheremo come “assioma di KELVIN”:

*“È impossibile, per mezzo di agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti (Nota *).”*

Al punto 13. (p. 179-180), KELVIN, per “dimostrare” la Prop. II tramite il suo “assioma”, costruisce la seguente dimostrazione per assurdo:

“13. Per dimostrare la seconda proposizione, siano A e B due macchine termo-dinamiche, di cui B soddisfa le condizioni espresse nella enunciazione (della Prop. II, cioè B è “reversibile” – ndr); e possa, se possibile, A ottenere più lavoro da una data quantità di calore, rispetto a B, quando le loro sorgenti e refrigeratori sono alle stesse temperature, rispettivamente. Allora tenendo conto della perfetta reversibilità in tutte le operazioni che realizza, B può essere fatta funzionare all'inverso, e fatto in modo da restituire qualsiasi quantità di calore alla sua sorgente, tramite il consumo della quantità di lavoro che, tramite la sua azione diretta, essa deriverebbe dalla medesima quantità di calore. Se, quindi, B è fatta funzionare all'inverso, e fatto in modo che restituisca alla sorgente di A (che possiamo supporre sia adattabile alla macchina B) tanto calore quanto ne è stato tratto da essa durante un certo periodo di funzionamento di A, una quantità minore di lavoro sarà quindi spesa rispetto a quanto guadagnata tramite il lavoro di A. Pertanto, se tali serie di operazioni di A in modo diretto e B all'inverso fossero fatte continuare, sia alternativamente che simultaneamente, risulterebbe

*una continua produzione di lavoro senza alcuna sottrazione di calore dalla sorgente; e, dalla Prop. I., segue che ci dovrebbe essere **più calore** estratto dal refrigeratore tramite il lavoro di B invertita rispetto a quello in esso depositato da A. Ora è ovvio che si potrebbe utilizzare parte del lavoro di A per far lavorare B all'inverso, e tutto l'insieme potrebbe essere reso autonomo. Inoltre, non essendoci nel complesso alcun calore sottratto o conferito alla sorgente, tutti i corpi e lo spazio circostante tranne il refrigeratore potrebbero, senza interferire con nessuna delle condizioni che sono state assunte, avere la stessa temperatura della sorgente, qualunque essa sia. **Avremmo quindi una macchina autonoma, capace di di sottrarre calore costantemente da un corpo circondato da altri a temperatura maggiore, e convertirlo in effetto meccanico.** Ma ciò è contrario all'assioma, e quindi concludiamo che l'ipotesi che A derivi più effetto meccanico dalla stessa quantità di calore sottratto dalla sorgente, rispetto a B, è falsa. Quindi, **nessuna macchina qualsiasi** (irreversibile - ndr), con sorgente e refrigeratore alle stesse temperature, **può ottenere più lavoro da una data quantità di calore introdotta rispetto a una qualunque macchina che soddisfi la condizione di reversibilità, ciò che si doveva dimostrare.**”*

Conviene spiegare meglio questo stralcio della memoria di KELVIN con l'ausilio della seguente figura, dicendo che egli immagina una macchina termica A, di qualsiasi tipo (quindi anche irreversibile), e un'altra macchina termica B che però soddisfa la condizione di reversibilità.

Facciamo attenzione al fatto che KELVIN non specifica quale tipo di irreversibilità caratterizzi la macchina A.

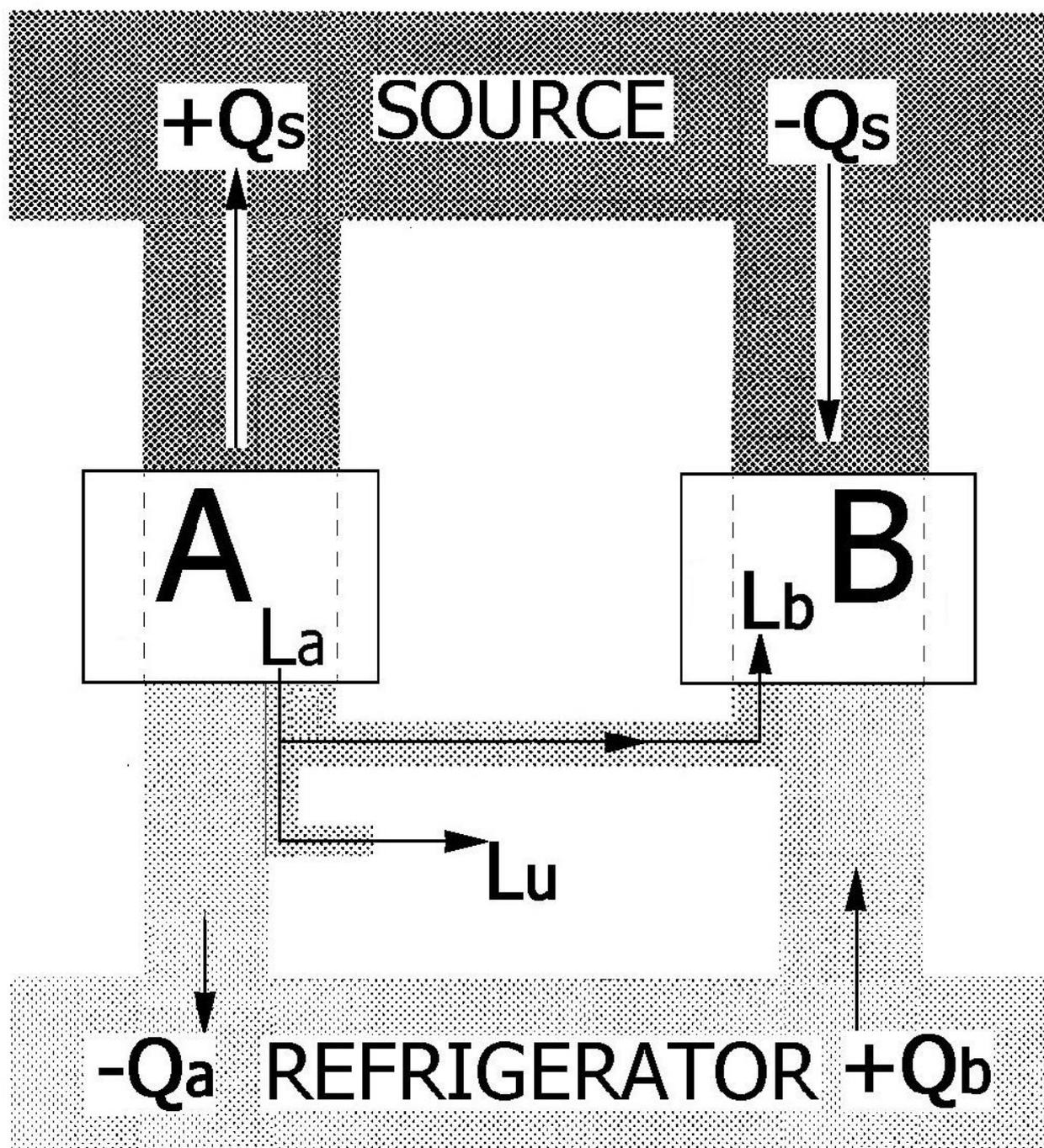


Fig. 4.5

Facendo riferimento alla Figura 4.5, possiamo dire che KELVIN suppone che la macchina *A* possa derivare il lavoro L_a , la cui quantità è supposta maggiore di L_b , cioè il lavoro necessario per far funzionare la macchina *B* (in altri termini, *A* sarebbe più efficiente di *B*).

Siccome *B* è reversibile, può essere fatta funzionare all'inverso, come frigorifero, utilizzando una parte del lavoro L_a .

Avendo KELVIN ipotizzato che A sia più efficiente di B , può dimensionare il complesso in modo che la macchina motrice A possa assorbire dalla sorgente una certa quantità di calore $+Q_s$, mentre la macchina frigorifero B possa cedere alla sorgente una uguale (in valore assoluto) quantità di calore $-Q_s$.

In questa situazione, la sorgente non viene assoggettata ad alcuno scambio di calore, dato che $+Q_s$ viene esattamente neutralizzato da $-Q_s$.

Ora, a differenza di ciò che si verificava nella teoria del Calorico, il calore cambia di entità nell'attraversare le macchine.

Da un lato, la quantità di calore $+Q_s$ estratta dalla sorgente dalla macchina A , quando viene restituita al refrigeratore è di entità minore, e vale $-Q_a$; la somma algebrica $+Q - Q_a$ viene trasformata dalla macchina A nel lavoro L_a .

Dall'altro lato, la macchina B viene messa in movimento e assorbe dal refrigeratore la quantità di calore $+Q_b$, ma ne restituisce alla sorgente una quantità maggiore, nella esatta misura del lavoro L_b che le necessita per funzionare.

In altri termini, il lavoro L_b viene completamente trasformato in calore, e questo va ad aggiungersi alla quantità di calore $+Q_b$, per formare la quantità $-Q_s$ che viene restituita alla sorgente.

In definitiva, vi sarebbe un eccesso di lavoro utile che avrebbe l'equivalente solo nel calore sottratto al refrigeratore, il più freddo dei corpi circostanti, visto che nulla cambia nel ragionamento se l'ambiente circostante assume la stessa temperatura della sorgente.

KELVIN ritiene che questa situazione sarebbe in contrasto con il suo assioma, per cui può concludere che la macchina irreversibile A non può essere più efficiente della macchina reversibile B .

KELVIN crede di aver ampliato, in tal modo, la validità della Proposizione II di CLAUSIUS oltre il limite dei cicli infinitesimali, avendola estesa a qualunque macchina reversibile.

Sembra quasi che KELVIN abbia voluto prendersi una rivincita su CLAUSIUS, il quale, nella memoria del 1850, aveva elegantemente irriso la ritrosia di KELVIN di abbandonare la teoria del Calorico.

KELVIN crede di aver dimostrato che il rendimento di qualunque macchina irreversibile è sempre **inferiore** a quello di una qualunque macchina reversibile, a parità delle due temperature, ed egli ritiene anche che il suo assioma consenta di dimostrare il teorema di CARNOT (p. 180) anche nella teoria dinamica per qualunque macchina termica reversibile.

KELVIN ha l'ambizione di dare una dimostrazione più generale di tale teorema rispetto a quella fornita da CLAUSIUS per i cicli di CARNOT infinitesimali, e tale intento è evidente in due passaggi.

Il primo si trova al Paragrafo 15 (p. 182), laddove KELVIN afferma:

“Una teoria completa della potenza motrice del calore dovrebbe consistere nella applicazione delle due proposizioni sopra dimostrate, ad ogni possibile metodo di produrre effetto meccanico da agenti termici.”

Il secondo passaggio si trova al Paragrafo 19, laddove KELVIN fa notare che:

“Questa applicazione della prima delle due fondamentali proposizioni è già stata pubblicata da Rankine e CLAUSIUS; e che la seconda, come CLAUSIUS ha mostrato nella sua memoria pubblicata, è semplicemente lo studio non modificato di CARNOT delle relazioni tra effetto meccanico prodotto e le circostanze termiche da cui esso si origina, nel caso di una macchina espansiva che lavora in un intervallo di temperature infinitamente piccolo.”

KELVIN, quindi, ha la pretesa di estendere le conseguenze della sua dimostrazione a qualunque tipo di macchina, per qualunque intervallo di temperatura, mentre la precedente memoria di CLAUSIUS si riferiva ai soli cicli di CARNOT con un intervallo di temperature infinitamente piccolo. In effetti, dal paragrafo 15 in poi, KELVIN prende in considerazione macchine termiche anche non cicliche, come quelle magnetiche e termo-elettriche e ad effetto Peltier.

Se la dimostrazione di KELVIN fosse valida, dimostrerebbe il teorema di CARNOT per qualunque tipologia di macchina termica, anche di tipo non ciclico. Sarebbe superato il limite che hanno incontrato CARNOT e CLAUSIUS, di dover riportare tutto il sistema nelle esatte condizioni di partenza. Insomma, se la dimostrazione di KELVIN fosse esatta e indiscutibile, costituirebbe un vero caposaldo per la nuova teoria dinamica.

Ma tale dimostrazione è veramente esatta e indiscutibile ?

È giunto il momento per fare una valutazione circa i ragionamenti di KELVIN, fin qui fedelmente riportati. Lo faremo con le seguenti osservazioni.

4.26 OSSERVAZIONE SUL SIGNIFICATO DELLA NOTA * DI KELVIN

Il significato che KELVIN vuole dare alla Nota * è chiarissimo: Egli vuole dimostrare che il suo assioma (come lo definisce) è vero.

Il significato che al giorno d'oggi si può dare della medesima Nota * è alquanto diverso.

Il concetto espresso da KELVIN nella Nota *, infatti, sembra essere stato concepito da uno scienziato pre-Galileiano: Un Peripatetico che non può conoscere il caposaldo del Metodo Scientifico.

Come abbiamo visto in precedenza, il Metodo Scientifico prevede l'utilizzo di assiomi per la costruzione di una certa teoria, tuttavia tale Metodo prevede anche che gli assiomi “debbano” consistere in concetti non-dimostrabili.

Non si pensi che io voglia porre una pura e semplice questione semantica, superflua e irrilevante. Come già detto in un precedente Capitolo, la Fisica è una scienza basata “soltanto” sull'osservazione sistematica di fenomeni naturali. L'insieme di tutte le osservazioni sperimentali circa un certo fenomeno naturale, consente di concepire un assioma che si possa ritenere di valore universale.

Essendo frutto dell'intuizione umana, l'assioma non è dimostrabile. La Comunità Scientifica, qualora condivida detto assioma, resta perennemente in attesa che un esperimento inedito lo possa smentire. Ne consegue che l'idea che un assioma sia dimostrabile si pone fuori dal Metodo Scientifico.

Incidentalmente notiamo che il ragionamento di cui alla Nota* costituisce una dimostrazione per assurdo incompleta (se fosse vero ... , ... si produrrebbe la tale conseguenza), dove l'incompletezza si riscontra, principalmente, nel non spiegare perché la conseguenza sarebbe assurda, lasciando al lettore l'onere di comprenderlo da solo.

KELVIN, inoltre, non formalizza questa dimostrazione per assurdo sotto nessun aspetto; non esplicita la tesi da dimostrare, non l'ipotesi, non l'assioma, che pure è necessario in una dimostrazione per assurdo, e neppure, come si è detto, ciò che sarebbe stato dimostrato. Assumiamo quindi noi l'onere di completare questa dimostrazione per assurdo, cercando in primo luogo di comprendere quale sia l'assioma che KELVIN lascia inespresso. A tale riguardo, ciò che si comprende della Nota * è che KELVIN sembra ritenere che non sia possibile realizzare quella tale macchina capace di “*produrre effetto meccanico tramite il raffreddamento del mare o della terra, senza nessun limite salvo quello della totale fuoriuscita di calore dalla*

terra e dal mare, o, in realtà, dall'intero mondo materiale". Questa è la vera illuminazione che è scattata nella mente di KELVIN. Trattandosi di un'idea non-dimostrabile, KELVIN avrebbe potuto utilizzarla come un assioma per la sua teoria.

KELVIN, invece, intende "dimostrare" la proposizione che lui considera un assioma.

4.27 IL VERO SIGNIFICATO DELL'ASSIOMA DI KELVIN

Applichiamo le precedenti considerazioni alla proposizione "*È impossibile, per mezzo di agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti*", che KELVIN considera un assioma degno di essere posto all'origine della teoria dinamica del calore.

Al giorno d'oggi, come si è visto, questa proposizione non può essere considerata un assioma, perché essa scaturisce dalla dimostrazione per assurdo costituita dalla Nota *.

Il ragionamento di KELVIN che abbiamo commentato, è strutturato come segue: Nella Nota* è sottinteso l'assioma della impossibilità, per l'Uomo, di costruire quella certa macchina e, sulla base di tale postulato, KELVIN crede di aver dimostrato la sua proposizione alla quale assegna il valore di assioma. Quest'ultimo, però, non può essere un assioma, in quanto trattasi di una proposizione dimostrata.

In ogni caso, il vero significato dell'assioma di KELVIN risiede esclusivamente nella Nota*, ed è indubbiamente il seguente:

L'Uomo non può costruire una macchina grado di utilizzare il calore di una sola riserva di calore e convertirlo completamente in lavoro meccanico.

Del resto, è lo stesso KELVIN che implicitamente ammette che il suo assioma non si riferisce ai fenomeni naturali, ma alle capacità tecnologiche dell'Uomo

Nella Parte II, Paragrafo n. 22, p. 188-189 della sua memoria, troviamo infatti quanto segue:

“L'importante teorema che $dp/dt/M$ deve essere lo stesso per tutte le sostanze che si trovano alla stessa temperatura, fu inizialmente enunciato da Carnot (anche se non proprio negli stessi termini), e da lui dimostrato in base ai principi che egli stesso aveva adottato. Abbiamo ora visto che la sua verità può essere soddisfacentemente stabilita senza adottare la parte falsa dei suoi principi. Pertanto, tutte le conclusioni di Carnot, e tutte quelle derivate da altri dalla sua teoria, che dipendono esclusivamente dall'equazione (3), non richiedono alcuna modifica quando si adotta la teoria dinamica.

(omissis)

Inoltre, vediamo che l'espressione di Carnot, relativa all'effetto meccanico derivabile da una certa quantità di calore mediante una macchina perfetta operante in un intervallo di temperatura infinitamente piccolo, esprime veramente il maggior effetto possibile che si riesce a ottenere in questo caso; e questo anche se, in realtà, si tratta soltanto di una parte infinitamente piccola dell'intero equivalente meccanico del calore fornito, essendo la rimanente parte irrimediabilmente perduta per l'uomo, e cioè “dissipata” anche se non annichilata.”

Osserviamo che KELVIN utilizza la dimostrazione per assurdo per dimostrare il teorema di CARNOT, ma tale dimostrazione è basata un “assioma” che egli stesso ha già “dimostrato” tramite la precedente dimostrazione per assurdo contenuta nella Nota *, la quale, a sua volta, è basata sull'assioma (implicito o non espresso)

della impossibilità di costruire quella particolare macchina termica che realizzerebbe l'assioma in parola.

La conclusione che possiamo trarre al giorno d'oggi, è che la Prop. II non è stata dimostrata tramite gli ingarbugliati concetti tautologici sopra ricordati.

Ma non è questo l'argomento più importante per contestare la validità della dimostrazione di KELVIN.

4.28 IL CONCETTO INTUITIVO DI KELVIN PER DEFINIRE LA REVERSIBILTA' DI MACCHINE TERMICHE

Nel paragrafo precedente, abbiamo visto che, tramite una dimostrazione per assurdo, KELVIN ritiene di aver trasferito nella nuova teoria dinamica la parte essenziale di quel teorema di CARNOT che aveva senso solo nella teoria del Calorico. Abbiamo anche notato che, in tale dimostrazione, KELVIN suppone che la macchina A sia una macchina qualunque, cioè irreversibile, senza null'altro aggiungere circa le cause dell'irreversibilità.

In un precedente paragrafo, abbiamo visto che, al giorno d'oggi, la definizione di irreversibilità viene fatta derivare dall'assioma fondamentale del Secondo Principio della Termodinamica.

KELVIN era ben conscio dell'esistenza di varie cause di irreversibilità, ma quali argomenti egli poteva utilizzare per stabilire se una certa macchina era non-reversibile ?

Per comprendere ciò, osserviamo che nella memoria del 1851, nel punto in cui KELVIN imposta la dimostrazione per assurdo che abbiamo esaminato nel paragrafo precedente, si trova quanto segue (p. 179):

“13. Per dimostrare la seconda proposizione, siano A e B due macchine termodinamiche, di cui B soddisfa la condizione espressa nella enunciazione;

(omesso)

Allora, tenendo conto della condizione di completa “reversibilità” in tutte le sue operazioni che esegue, B può essere fatta funzionare all'inverso,...”.

È molto importante osservare che KELVIN fornisce la definizione di reversibilità di una macchina soltanto nel contesto della sua dimostrazione per assurdo.

Per KELVIN, quindi, il concetto di reversibilità è propedeutico ai fini della dimostrazione del teorema di CARNOT.

Secondo KELVIN, quindi, una macchina è reversibile se tutti gli agenti fisici e meccanici sono invertiti in ogni parte del movimento quando essa è fatta funzionare all'inverso, e questa è la sua definizione di macchina reversibile.

Come vedremo nel prossimo paragrafo, KELVIN, essendo convinto che il suo assioma consente di dimostrare che una macchina reversibile realizza il massimo rendimento possibile, nella sua successiva memoria userà il suo assioma per stabilire quali siano le trasformazioni (non più le macchine) irreversibili o dissipative.

4.29 IL PERSONALE CRITERIO DI KELVIN PER INDIVIDUARE LE TRASFORMAZIONI IRREVERSIBILI

Come si è visto, nella memoria del 1851 KELVIN fornisce una indiretta definizione di macchina irreversibile.

Basandosi sulla dimostrazione che crede di aver dato al teorema di CARNOT, KELVIN crede anche che sia possibile definire come “macchine irreversibili” quelle che contengono trasformazioni i cui parametri non sono esattamente invertiti durante il funzionamento inverso.

In una memoria pubblicata l'anno successivo (nel 1852), intitolata “*On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of*

Mechanical Energy”, KELVIN modifica e anzi perfeziona la sua idea circa il concetto di “irreversibilità”.

Tale pubblicazione è rintracciabile al seguente indirizzo:

<https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/kelvin1852.pdf>

In questa memoria, KELVIN fornisce una chiara indicazione di quali sarebbero, secondo lui, i “fenomeni” o trasformazioni irreversibili o dissipativi. KELVIN scrive, infatti (p. 511-512):

*“Le proposizioni seguenti sono redatte con riferimento alla dissipazione di energia meccanica da una data riserva, e il ripristino alla sua primitiva condizione. **Esse sono conseguenze necessarie** [nota bene – ndr] **dell'assioma**: “È impossibile, per mezzo di agenti materiali inanimati, ottenere un effetto meccanico da una porzione di materia raffreddandola al di sotto del più freddo degli oggetti circostanti.”*

I. Quando il calore è creato da un processo reversibile (cosicché l'energia meccanica così spesa può essere ripristinata alla sua primitiva condizione), c'è anche un trasferimento da un corpo freddo ad uno caldo di una quantità di calore connessa alla quantità creata, una proporzione definita dipende dalle temperature dei due corpi.

II. Quando il calore è creato da un processo irreversibile (come l'attrito), c'è dissipazione di energia meccanica, e il pieno ripristino alla condizione primitiva è impossibile.

*III. **Quando il calore viene diffuso per conduzione, c'è dissipazione di energia meccanica**, e il perfetto ripristino è impossibile.*

IV. Quando il calore radiante o la luce viene assorbita, diversamente che nei vegetali, o in reazioni chimiche, c'è dissipazione di energia meccanica, e il perfetto ripristino è impossibile.”

Se notiamo che l'assioma non si riferisce a fenomeni Naturali, bensì è una affermazione apodittica che impone un limite al perfezionamento che il genere umano può apportare alla tecnologia delle macchine termiche, non possiamo fare a meno di riconoscere che, nell'istituirlo, KELVIN ha compiuto un vero e proprio capovolgimento rispetto a ciò che prevede il Metodo Scientifico.

Di solito, è la Scienza a condizionare ciò che si può realizzare tecnologicamente, ma KELVIN decise di fare il contrario: la tecnologia della seconda metà del diciannovesimo secolo doveva condizionare la teoria di una parte della teoria del calore per tutti i secoli futuri.

Senza tema di smentita, si può affermare che questo è stato un primo errore di impostazione (quindi di Logica) per una parte della teoria del calore.

A tale riguardo, secondo Truesdell:

“KELVIN non svela come egli abbia derivato queste proposizioni dal suo assioma. Il resto nella sua nota concerne la questione, “Quanto è grande la perdita di potenza che il vapore deve subire nel fluire attraverso tubi di piccole dimensioni compensata, rispetto all'economia della macchina, dal calore (contenente un esatto equivalente di energia meccanica) creato dall'attrito ?” (The Tragicomical History, p. 306).

In effetti, KELVIN lascia alquanto in sospeso la definizione di “irreversibilità”.

I suoi successori dovranno tentare di chiarire tale questione e, come vedremo, saranno costretti ad inventare una definizione alquanto complicata di irreversibilità.

Per quanto riguarda il fenomeno della conduzione di calore, il criterio di KELVIN di considerare irreversibile tale trasformazione

verrà condiviso da coloro che proseguiranno il lavoro di sistemazione della nuova teoria del calore, con CLAUSIUS per primo.

Diventerà una assurdità l'idea che una “macchina” che al suo interno comprende in qualche modo il fenomeno della conduzione di calore, possa avere un rendimento superiore a quello del ciclo di CARNOT nelle stesse condizioni. Questa idea verrà condivisa e comporterà drammatiche conseguenze sul futuro sviluppo della teoria dinamica del calore.

4.30 L'IRREVERSIBILITÀ DEL FENOMENO NATURALE DELLA CONDUZIONE DI CALORE SECONDO KELVIN

KELVIN ritiene che il suo assioma abbia, tra l'altro, la conseguenza che il calore di conduzione è un fenomeno irreversibile. Questa è una delle intuizioni espresse originariamente da CARNOT, il quale nel suo libretto scrive (p. 90):

“Sarebbe giusto chiedere quale sia il senso della parola “massima (potenza motrice - ndr) ?”... Dato che ogni ristabilimento dell'equilibrio nel calorico può essere causa di potenza motrice, ogni ristabilimento dell'equilibrio che si verifica senza produrre questa potenza dovrebbe essere considerato come una vera perdita. Ora ci vuole poca riflessione per mostrare che ogni cambiamento di temperatura che non è dovuto ad un cambiamento di volume ... può essere niente altro che un improduttivo ristabilimento del calorico. Quindi la condizione necessaria per il massimo è che nei corpi impiegati per ottenere potenza motrice, non ci debba essere alcun cambiamento di temperatura che non sia dovuto ad un cambiamento di volume. Viceversa ogni qual volta questa condizione è soddisfatta vi è il massimo.”

Poiché la conduzione del calore produce proprio cambiamenti di temperatura senza produrre lavoro, CARNOT inizia a delineare il

concetto di irreversibilità di questo fenomeno naturale.

CARNOT conclude, infatti, che il massimo lavoro che una quantità di Calorico può produrre, si ottiene quando tutto il calore è assorbito (dalle macchine) alla temperatura più alta e riemesso tutto (dalle stesse macchine) alla temperatura più bassa.

Questa condizione è soddisfatta dal ciclo di CARNOT, poiché è vero che il calore transita “attraverso” la macchina di CARNOT, ma in essa corpi aventi temperature diverse non vengono mai direttamente in contatto tra loro.

In definitiva, secondo CARNOT, la conduzione di calore è una perdita irrecuperabile che abbassa il rendimento. I Padri Fondatori hanno ritenuto che questo concetto potesse essere salvato anche nella nuova teoria dinamica.

KELVIN, nella sua citata memoria del 1852, infatti scrive:

“III. Quando il calore viene diffuso per conduzione, c'è dissipazione di energia meccanica, e il perfetto ripristino è impossibile.”

Anche CLAUSIUS, come abbiamo visto, ritiene che il fenomeno della conduzione del calore sia irreversibile, e esprime questo concetto essenzialmente con il suo assioma:

“Il calore non può mai passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, abbia luogo allo steso tempo”.

Come vedremo, CLAUSIUS spiega chiaramente questo concetto anche nella Collezione delle sue memorie (*The Mechanical Theory of Heat*, London, McMillan & Co, 1879, p. 213:

“... poiché in molti processi, cioè la generazione di calore per attrito, e il passaggio di calore per conduzione da un corpo caldo ad uno freddo, si verifica una trasformazione positiva soltanto, non accompagnata da alcun altro cambiamento”.

In definitiva, sia per Kelvin che per CLAUSIUS c'è una certezza: La conduzione di calore è un fenomeno naturale irreversibile.

Al contrario, come abbiamo già visto, secondo TRUESDELL:

“La vecchia teoria, basata sulla dottrina dei Calori Latenti e Specifici, rende tutti i processi “reversibili”. CLAUSIUS sembra vedere improvvisamente che in natura noi non possiamo far funzionare al contrario le macchine.” (The Tragicomical History, p. 337).

In realtà, il concetto originariamente espresso da CARNOT, che il massimo rendimento si ha quando corpi a diversa temperatura non entrano mai in reciproco contatto, aveva senso fisico compiuto nella teoria del Calorico, ma ora, nella nuova teoria dinamica, questo concetto non può più essere salvato senza riserve.

Infatti, il calore è una forma di energia meccanica (posseduta da atomi e molecole), e quindi quando due corpi a diversa temperatura vengono in reciproco contatto, si verifica, è vero, un processo di redistribuzione delle energie meccaniche microscopiche, ma la loro somma resta inalterata.

Pertanto, è errato considerare “dissipativo” il fenomeno della conduzione di calore.

Sarebbe invece più giusto denominare tale fenomeno come trasformazione “distributiva”, per poter accertare in seguito se essa sia irreversibile oppure no.

KELVIN invero è consapevole che l'energia meccanica totale del calore resta inalterata allorché una macchina perfetta ne trasforma una parte in lavoro, ma, secondo lui, la parte di questa energia ceduta al refrigeratore è: *“...una parte infinitamente piccola dell'intero equivalente meccanico del calore fornito, essendo la rimanente parte irrimediabilmente perduta per l'uomo, e cioè “dissipata” anche se non annichilata* (Parte II, Paragrafo n. 22, p.

188-189 della sua memoria).

Secondo un tale concetto, una volta che il calore è stato ceduto dalla macchina al refrigeratore, esso diventa perduto per l'Uomo.

Poiché la conduzione di calore cede calore al corpo più freddo, allora KELVIN ritiene che anche questa trasformazione debba essere “dissipativa” e, secondo la sua concezione, deve essere considerata irreversibile perché l'Uomo non può più recuperare la sua energia meccanica.

Tuttavia, non possiamo non notare che questa l'idea è innanzi tutto contraddittoria: se l'energia meccanica non è annichilata, come può, allo stesso tempo, essere “dissipata” (ricordiamo il punto III di cui sopra: “Quando il calore viene diffuso per conduzione, c'è dissipazione di energia meccanica...”).

In secondo luogo, tale idea è contraria al Metodo Scientifico, poiché fa dipendere un principio fisico (l'assioma) dalle contingenti capacità tecnologiche dell'Uomo.

4.31 LA DISCIPLINA DEI CALORI LATENTI E SPECIFICI E LA REVERSIBILITÀ DELLA CONDUZIONE DI CALORE

Le considerazioni del precedente paragrafo ci portano ad esaminare, con maggior dettaglio, la proposizione di cui al Punto III della citata memoria di KELVIN, che esprime la sua convinzione che la conduzione di calore sia un fenomeno naturale irreversibile, non diverso dall'attrito e da altri fenomeni in cui l'energia meccanica viene realmente dissipata.

Si può giustificare in parte questa errata convinzione di KELVIN, perché egli non poteva avere le moderne conoscenze circa la struttura molecolare e atomica, che oggi consentono di escludere che la conduzione di calore sia perfettamente identificabile con l'attrito meccanico.

Al giorno d'oggi, infatti, sappiamo che nell'attrito meccanico che si verifica, ad esempio, tra due corpi solidi che si muovono in contatto reciproco, gli urti tra atomi e molecole sono sicuramente anelastici, in quanto tale forma di interazione produce rotture di legami molecolari tra le parti in reciproco movimento, o il distacco di interi settori, piccoli ma macroscopici.

Si può anche ipotizzare che KELVIN non sapesse che in quel tempo studiosi di meccanica statistica ipotizzavano che gli urti tra molecole fossero sempre elastici (quindi, reversibili).

KELVIN, tuttavia, aveva ben due conoscenze, tra loro connesse, che contraddicevano la citata sua proposizione del Punto III.

La prima, è che egli era sicuramente a conoscenza della Dottrina dei Calori Latenti e Specifici, applicabile alla conduzione del calore. La seconda, gli derivava sicuramente dai suoi studi di ingegneria e di scienze, che devono averlo portato a conoscere il funzionamento di quel particolare dispositivo chiamato “rigeneratore di calore”, che tanto spesso veniva impiegato nelle macchine termiche del suo tempo.

Il funzionamento del rigeneratore di calore (spesso confuso con il “recuperatore” di calore) è spiegato dalla Dottrina dei Calori Latenti e Specifici, ed è un perfetto esempio di come la temperatura di un fluido contenuto in un circuito chiuso, possa prima diminuire e poi essere “rigenerata” senza interventi esterni di alcun tipo.

La differenza tra rigeneratore e recuperatore di calore consiste soltanto nel diverso modo di operare: mentre il rigeneratore viene attraversato il modo alternato dal fluido, e quindi prima assorbe calore e poi lo ricede, il recuperatore ha due sezioni separate fisicamente, ma non termicamente, le quali vengono attraversate da un flusso costante di fluido variabile.

È vero che un recuperatore di calore reale non può esattamente

ripristinare la temperatura iniziale.

KELVIN, tuttavia, e tutti gli altri Padri Fondatori della teoria termodinamica, con CLAUSIUS in prima linea, erano maestri nell'idealizzare le macchine termiche. Se essi avessero idealizzato non solo le macchine termiche, ma anche i rispettivi rigeneratori di calore, avrebbero dovuto ammettere che un tale dispositivo ideale potrebbe far risalire la temperatura del fluido “esattamente” al valore iniziale senza alcun intervento esterno, mediante il fenomeno (interno) della conduzione di calore. Essi avrebbero così compreso che l'irreversibilità della conduzione di calore non è identica a quella di tutti gli altri fenomeni irreversibili, e avrebbero dovuto valutare quali conseguenze ciò avrebbe comportato per i loro teoremi.

Ma i Padri Fondatori della teoria termodinamica non considerarono mai le macchine termiche reali del loro tempo, che in gran parte erano dotate del rigeneratore di calore.

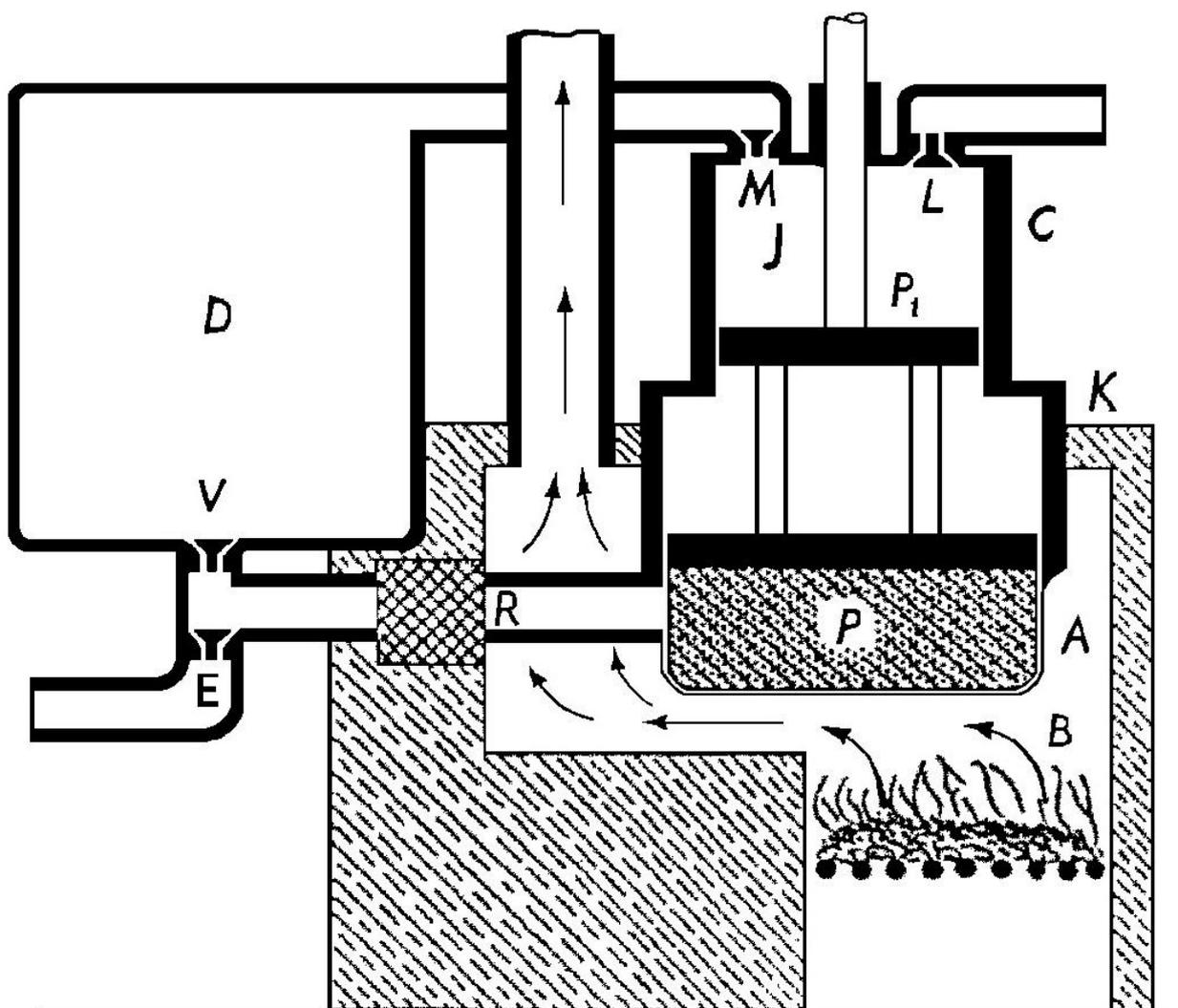


Fig. 4.6

Riportiamo qui, a titolo di esempio nella Figura 4.6, il disegno della macchina termica di Ericsson, modello del 1851 – che fu realmente utilizzato impiegato come motore nella prima nave da guerra statunitense della serie “Monitor”.

Nella figura, il rigeneratore di calore è contrassegnato con R.

I Padri Fondatori considerarono sempre macchine termiche “ideali”, come ad esempio il ciclo di CARNOT, che non richiede l'impiego del recuperatore di calore.

È a questo punto che noi potremmo chiederci quali conseguenze potrebbe avere, sulla dimostrazione per assurdo di KELVIN, l'idea che la conduzione di calore non sia un fenomeno irreversibile. Questo lo dovremo vedere solo nel seguito, perché prima bisogna

affrontare un'altra questione, quella relativa al presupposto introdotto da KELVIN circa la sorgente di calore.

4.32 L'IMPLICITO E INDEBITO PRESUPPOSTO DI KELVIN SULLA SORGENTE DI CALORE

Ricordiamo che abbiamo lasciato in sospeso il quesito 3-A): L'imposizione che la quantità di calore trasformata in lavoro debba sempre essere fornita da un corpo caldo, da KELVIN definito una “sorgente”. Tale imposizione è riportata tra le “convenzioni” al Punto 8 (p. 11):

“8. Si supporrà sempre che la sorgente di calore sia un corpo caldo a una temperatura costante, messo in contatto con qualche parte della macchina;”

L'idea che il calore debba provenire sempre da un corpo caldo è sembrata ovvia a KELVIN, perché egli aveva la mente condizionata dalle idee di CARNOT.

Una mente libera da tali condizionamenti non avrebbe posto questa condizione, perché, a priori, non si deve escludere che il calore, da cui in definitiva si può trarre energia meccanica, possa essere estratto dal corpo più freddo (il refrigeratore).

Ammetto che questa idea è contro-intuitiva e sembra assurda, ma essa non può essere imposta come presupposto per lo sviluppo della teoria del calore, perché non è contraria al principio di conservazione dell'energia.

Infatti, mentre è possibile ritenere che per una singola macchina termica tale condizione sia rispettata, non c'è alcun motivo per ritenere che debba accadere altrettanto per una combinazione di macchine termiche contrapposte.

Semmai, questa condizione potrebbe scaturire in seguito, come una conseguenza della teoria dinamica del calore che si sta costruendo.

Al contrario, KELVIN pone l'idea che il calore convertito in lavoro debba sempre provenire da un corpo caldo come presupposto principale del suo ragionamento, e vedremo che in conseguenza di questa restrizione, egli dovrà (inconsapevolmente) lasciare incompleta la sua dimostrazione della Prop. II.

Se riusciremo a fare chiarezza circa tale restrizione, diventerà possibile scoprire che il ragionamento per assurdo sviluppato da KELVIN non può realmente dimostrare il teorema di CARNOT; potremo allora proseguire, ovvero razionalizzare, il ragionamento che KELVIN ha dovuto interrompere e ciò consentirà di giungere ad una conclusione del tutto opposta alla sua.

4.33 CRITICA E RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO DI KELVIN – PRIMO MOTIVO DI INACCETTABILITÀ

Dopo i precedenti paragrafi incidentali, iniziamo l'esame critico della dimostrazione del teorema di CARNOT dovuta a KELVIN.

Per sviluppare la teoria dinamica del calore, KELVIN, come CLAUSIUS prima di lui, utilizza lo stesso artificio di logica-matematica che inizialmente CARNOT aveva introdotto nello studio ingegneristico delle macchine termiche: La dimostrazione per assurdo. Come abbiamo fatto in precedenza per la memoria di CLAUSIUS, procediamo a razionalizzare, secondo i tradizionali metodi matematici, anche la dimostrazione per assurdo di KELVIN usando soltanto i suoi argomenti.

Ricordiamo che il sistema fisico immaginato da KELVIN è il seguente (p. 13):

Esiste una macchina termica A di qualsiasi tipo (quindi anche irreversibile), e un'altra macchina termica B , che però soddisfa sempre la condizione di reversibilità. I fluidi che circolano in queste

due macchine scambiano calore con due corpi a diversa temperatura. KELVIN chiama “sorgente” il corpo fisico da cui il calore viene estratto e convertito in lavoro, e “refrigeratore” il corpo che riceve calore. Ricordiamo che KELVIN non specifica il tipo di irreversibilità presente in A , e non attribuisce a sorgente e refrigeratore alcuna caratteristica particolare, salvo quella di mantenere costanti le rispettive temperature.

Tutta l'attenzione di KELVIN è concentrata sulle condizioni imposte alle macchine, ed egli avanza l'ipotesi che la macchina A sia più efficiente della macchina B , ciò che le consentirebbe di produrre più lavoro di B a parità di calore consumato.

Essendo la macchina B reversibile, essa può essere fatta funzionare all'inverso (come frigorifero) e i suoi parametri possono essere calibrati in modo che essa restituisca alla sorgente lo stesso quantitativo di calore sottratto dalla macchina A .

La TESI del teorema di CARNOT (nella versione di KELVIN) è la seguente:

“La macchina irreversibile A non può essere **più efficiente** della macchina reversibile B , a parità delle temperature di funzionamento di sorgente e refrigeratore.”

Nella dimostrazione per assurdo l'ipotesi è l'opposto della tesi.

IPOSTESI: “La macchina irreversibile A è **più efficiente** della macchina reversibile B , a parità delle temperature di sorgente e refrigeratore.”

Seppure non adottiamo l'intransigenza della matematica costruttiva, e quindi consentiamo l'uso del principio Aristotelico del terzo escluso, dobbiamo almeno preventivamente verificare se tale principio possa essere utilizzato. Questa verifica si può fare verificando quanti siano i casi possibili quando le due macchine A e B funzionano contrapposte. Tale numero dipende dalle condizioni

imposte da KELVIN al sistema, le quali sono le seguenti:

- 1) Le trasformazioni che avvengono all'interno della macchina B sono tutte reversibili (non vi sono attriti o altri fenomeni “dissipativi”);
- 2) Il calore è sempre fornito da un corpo caldo a temperatura costante (la sorgente), posto in contatto con qualche parte della macchina;
- 3) Quando vi è necessità di evitare aumenti di temperatura di una parte della macchina, questo si può fare mettendo tale parte in contatto con un corpo freddo, chiamato refrigeratore;
- 4) La quantità di calore che la macchina irreversibile A sottrae alla sorgente, è uguale alla quantità di calore che la macchina reversibile B invertita cede alla sorgente.

Ciò premesso, quando A e B funzionano in contrapposizione, i possibili casi sono i seguenti tre:

- 1) A produce più lavoro di B ;
- 2) A produce lo stesso lavoro di B ;
- 3) A produce meno lavoro di B .

Vediamo se esiste qualche criterio di natura fisica che consenta di ridurre questi tre casi a due soltanto.

Il caso 1) è l'IPOTESI, e quindi non può essere eliminata. Il caso 2) e il caso 3) fanno parte della TESI da dimostrare, e non possono essere eliminati.

Il principio di conservazione dell'energia non aiuta a ridurre il numero dei possibili casi, per cui restano tre casi distinti.

Ma, per definizione, il principio del terzo escluso può dare una soluzione univoca solo in presenza di due casi possibili in opposizione, non tre.

Pertanto, la conclusione tratta da KELVIN che “...*nessuna macchina qualsiasi (irreversibile - ndr), con sorgente e refrigeratore alle stesse temperature, può ottenere più lavoro da una data quantità di calore introdotta rispetto a una qualunque macchina che soddisfi la condizione di reversibilità...*” NON è esatta.

Infatti, seppure la sua dimostrazione fosse valida (e noi vedremo che non lo è per altri motivi), la vera conclusione del suo ragionamento logico sarebbe che l’IPOTESI (caso 1 di cui sopra) è errata, e quindi: **una macchina irreversibile deve essere meno efficiente di una macchina reversibile (caso 3 di cui sopra), ma può essere anche ugualmente efficiente (caso 2 di cui sopra).**

Tuttavia, nel prossimo paragrafo sono esposte le ulteriori motivazioni che rendono anche quest'ultima proposizione non-condivisibile.

4.34 INCOMPLETEZZA DELLA DIMOSTRAZIONE DI KELVIN COME CONSEGUENZA DI DUE PRESUPPOSTI

A) PRIMO PRESUPPOSTO IMPLICITO

Il nostro percorso critico relativamente al ragionamento di KELVIN inizia con il notare che non è vero, come KELVIN scrive al Paragrafo 9, che la dimostrazione del teorema di CARNOT sia basata soltanto sulla Prop. I e sulla Prop. II, dato che in precedenza, all'inizio del Paragrafo 8, p. 178, egli ha introdotto un primo “indebito presupposto”:

“Si supporrà che la “sorgente di calore” sia sempre un corpo caldo a temperatura costante, posto in contatto con qualche parte della macchina; ...”

Pertanto, secondo KELVIN, mai il calore convertito in lavoro potrà essere estratto dal refrigeratore (il più freddo degli oggetti circostanti).

Definisco indebito tale presupposto (una vera e propria restrizione), perché il principio di conservazione dell'energia non consente di escludere che il sistema di macchine contrapposte (nei termini di KELVIN: Sistemi inanimati) possa produrre un effetto meccanico a spese soltanto del calore sottratto al refrigeratore (nei termini di KELVIN: Una porzione di materia) che è più freddo (nei termini di KELVIN: il più freddo degli oggetti circostanti) della sorgente.

Pertanto, la dimostrazione di KELVIN del teorema di CARNOT non è basata soltanto sui suoi espliciti presupposti, bensì anche su un altro, dovendo considerare anche l'”indebito presupposto” sulla sorgente di calore, che, seminascosto, fa capolino dal precedente Paragrafo 8 della memoria di KELVIN.

Quando KELVIN giunge a considerare il caso in cui il calore consumato per produrre lavoro dovrebbe essere fornito dal refrigeratore, interrompe (prematuramente) il ragionamento, ritenendo che sia giunto il momento di trarre le conclusioni. Ciò accade per due ragioni interconnesse.

Il primo motivo, non dichiarato, è che tale caso è contrario all'”indebito presupposto” sulla sorgente.

Il secondo motivo, esplicitamente dichiarato, è che detto caso è contrario al suo assioma.

Giunto a quel punto, KELVIN ritiene che la dimostrazione sia conclusa, mentre dal nostro punto di vista egli la interrompe.

Nel prossimo paragrafo vedremo come, eliminando l'indebito presupposto sulla sorgente, il ragionamento di KELVIN possa proseguire, non prima, però, di eliminare anche un altro indebito

presupposto (questa volta veramente nascosto) introdotto dallo stesso KELVIN.

B) SECONDO PRESUPPOSTO NASCOSTO

Da quanto si è finora osservato, KELVIN ha impostato il problema teorico sulla determinazione del massimo rendimento di una generica macchina termica perfetta, supponendo che la sua perfezione sia determinata dalla perfezione delle trasformazioni che la compongono.

L'idea che sta dietro questa supposizione, è che essa determini il massimo rendimento possibile rispetto al caso in cui la macchina contenga qualche imperfezione.

KELVIN, però, non dichiara nulla circa il grado di perfezione di sorgente e refrigeratore, ma richiede soltanto che le rispettive temperature restino costanti.

Di fatto, KELVIN suppone, senza dichiararlo (presupposto nascosto), che la sorgente e il refrigeratore siano perfettamente isolati termicamente, in modo che non debba esistere alcun tipo di scambio di calore tra di loro.

Tuttavia, come vedremo, il ragionamento di KELVIN può essere esattamente ripetuto anche se si ipotizza che tra la sorgente e il refrigeratore si verifichi il fenomeno naturale del passaggio di calore per conduzione.

Può sembrare inutile discutere di ciò, ma vedremo invece che tale considerazione è determinante nel ribaltare le conclusioni tratte da KELVIN.

Vedremo, infatti, che se si ammette che la sorgente possa cedere calore direttamente al refrigeratore per conduzione, senza attraversare le macchine *A* e *B*, potremo non solo proseguire il ragionamento prematuramente interrotto da KELVIN, ma anche proseguirlo ottenendo risultati sorprendenti.

4.35 COMPLETAMENTO DELLA DIMOSTRAZIONE DI KELVIN

Se la dimostrazione di KELVIN è rimasta incompleta, nel senso sopra detto, nulla impedisce di completarla proprio ora.

Osserviamo, innanzi tutto, che i due indebiti presupposti sopra menzionati sono interconnessi. KELVIN può dichiarare che le due macchine violano il suo assioma poiché egli ha introdotto il primo indebita presupposto (il calore trasformato in lavoro è sempre estratto dalla sorgente).

Poiché egli non lo pone tra le condizioni, ma lo colloca tra le convenzioni, anche noi siamo autorizzati a non considerarlo nel nostro ragionamento.

Tra l'altro, in tal modo rendiamo il nostro ragionamento più generale rispetto a quello di KELVIN.

Osserviamo anche che la condizione di isolamento termico perfetto non esiste nel mondo reale: in pratica, ci sarà sempre una conducibilità termica diversa da zero tra sorgente e refrigeratore.

Se consideriamo questa eventualità, non togliamo nulla al valore teorico della dimostrazione; al contrario, lo aumentiamo poiché consideriamo una condizione più vicina al mondo reale rispetto al sistema puramente ideale proposto da KELVIN.

Supponiamo, quindi, a modifica dell'impostazione di KELVIN, che il calore possa fluire, spontaneamente, dalla sorgente calda verso il refrigeratore secondo un preciso rateo temporale, senza attraversare né le macchine né il fluido che esse contengono.

Questo risultato si può ottenere tramite la iniziale interposizione di opportuni materiali parzialmente isolanti tra sorgente e refrigeratore, ovvero, ciò che nella tecnica è denominato una “resistenza termica”.

Ora introduciamo questa modifica al ragionamento di Kelvin, facendo attenzione al fatto che stiamo introducendo un fenomeno naturale da lui ritenuto irreversibile (la conduzione di calore), ma non la stiamo introducendo all'interno delle macchine A e B , bensì fuori.

Ciò consente di ripetere pedissequamente il ragionamento di KELVIN, ma anche di proseguirlo oltre il punto in cui egli lo ha dovuto (inconsapevolmente) terminare nella convinzione di aver concluso la dimostrazione.

Torniamo quindi all'inizio del teorema, con la macchina irreversibile A che funziona da motore e la macchina reversibile B che funziona come frigorifero.

KELVIN aveva incluso nel suo assioma il concetto che il calore consumato per produrre il lavoro non dovesse provenire dal refrigeratore, e di conseguenza aveva dovuto considerare conclusa la sua dimostrazione poiché il suo assioma era violato.

Ora, invece, facciamo in modo che dalla sorgente venga estratto, e integralmente inviato al refrigeratore, lo stesso flusso di calore, $+Q_b - Q_a$, che la combinazione di A e B dovrebbe sottrarre al refrigeratore per produrre il lavoro utile L_u , come rappresentato nella seguente Figura 4.7.

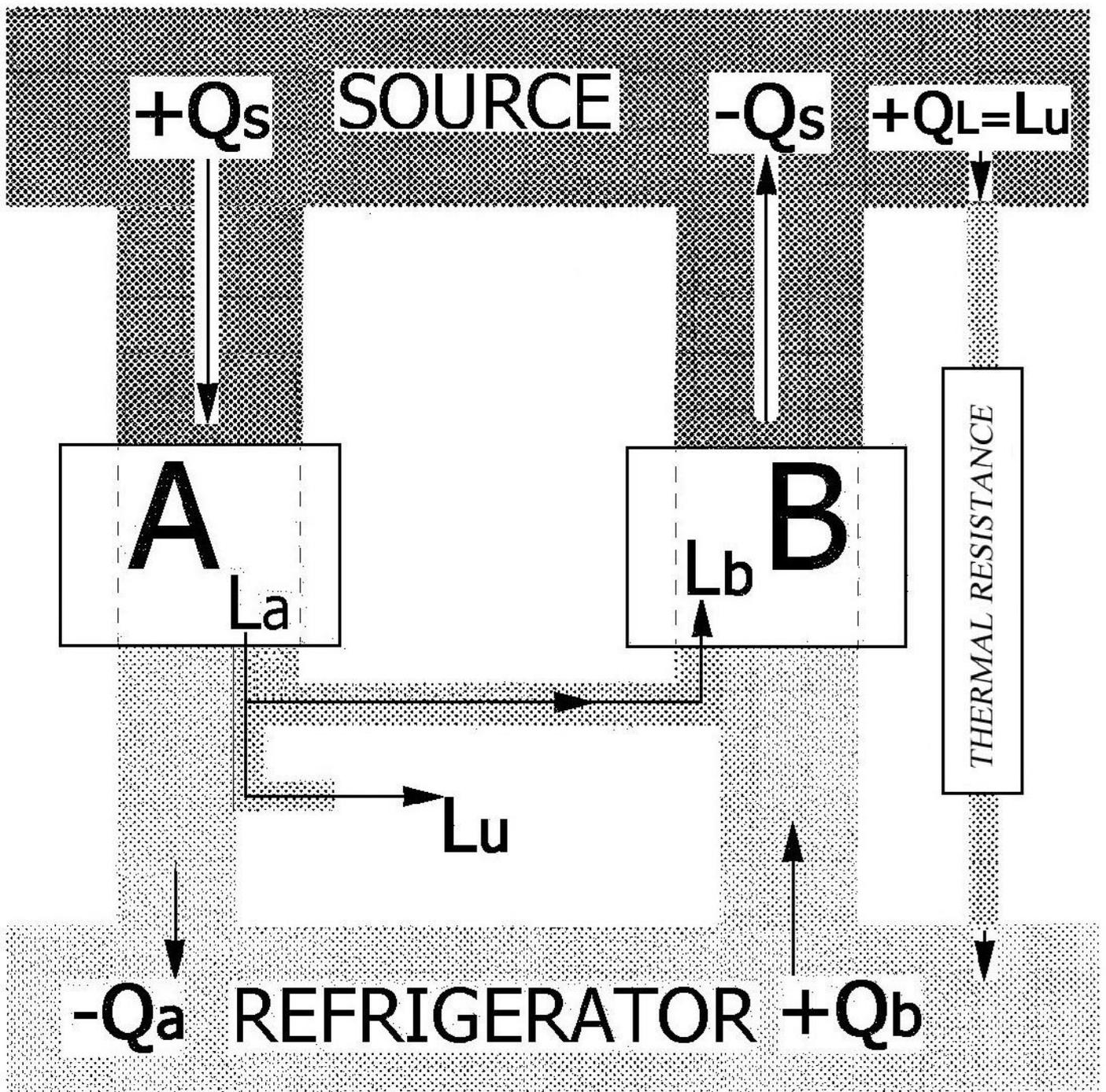


Fig. 4.7

Questo risultato si può ottenere interponendo, tra sorgente e refrigeratore, una resistenza termica di valore ben preciso.

Poiché, come vedremo, la Comunità Scientifica considera le sorgenti come “intorni locali” del “sistema”, chiamiamo convenzionalmente “calore locale di compensazione” questa precisa quantità di calore di conduzione, il cui valore è $Q_L = +Q_b - Q_a = L_u$.

A questo punto, nulla più impedisce che l'insieme delle due macchine continui a funzionare.

In tali condizioni, che potremmo definire stazionarie, il bilancio di calore del refrigeratore diventa zero, e resta costantemente nullo mentre le due macchine continuano a funzionare.

Ora non è più il refrigeratore (il più freddo dei corpi circostanti) ad erogare il calore consumato per produrre il lavoro utile L_u .

Il calore che il corpo freddo avrebbe dovuto erogare (e che ha determinato l'assurdità invocata da KELVIN) per produrre L_u , ora viene in realtà fornito dalla sorgente calda, la quale eroga esattamente la quantità di calore corrispondente al lavoro utile L_u prodotto dalla combinazione di A e B .

Questa condizione non viola l'assioma di KELVIN.

Quindi, se si introduce anche il calore locale di compensazione, la combinazione di macchine A e B ipotizzata da KELVIN, con la macchina irreversibile A più efficiente della macchina reversibile B , può funzionare a tempo indeterminato senza violare il suo l'assioma.

In definitiva, completando la dimostrazione di KELVIN del teorema di CARNOT, scopriamo che l'ipotesi che la macchina irreversibile A sia più efficiente della macchina reversibile B non produce alcuna assurdità.

La dimostrazione di KELVIN, quindi, non è corretta per l'utilizzo errato del principio del terzo escluso, ma è anche “incompleta” e quindi complessivamente errata per la mancata considerazione del calore locale di compensazione.

In entrambi i casi l'assioma di KELVIN si è dimostrato inutile.

4.36 ULTERIORE RIFLESSIONE SULLA NOTA * DI KELVIN

In precedenza, abbiamo visto che nell'assioma di KELVIN è implicito il concetto che tra sorgente e refrigeratore non vi sia passaggio di calore, per cui tale concetto deve trovarsi nella Nota * che è all'origine dell'assioma stesso.

Nella Nota *, infatti, KELVIN immagina una macchina che produce lavoro assorbendo calore “soltanto” da un corpo (non una sorgente) rappresentato da tutto il mondo materiale, raffreddandolo senza alcun limite.

Tuttavia, la Nota * è ambigua, poiché si riferisce ad un sistema fisico irrealistico (da ciò deriva l'assurdità che in essa è implicita); sappiamo, infatti, che una macchina termica (la quale potrebbe sottrarre calore al “corpo”) può funzionare soltanto se sono presenti (almeno) due temperature di funzionamento diverse, mentre KELVIN “sembra” considerare l'esistenza di una sola temperatura: la temperatura dell'intero mondo materiale, sebbene in graduale diminuzione.

In definitiva, il significato della Nota *, e quindi dell'assioma di KELVIN, dovrebbe essere il seguente:

È impossibile ottenere lavoro (tramite una macchina) da un sistema in cui vi sia soltanto una sorgente di calore.

La nostra riflessione è che nel sistema descritto da KELVIN non esiste alcuna “sorgente” - concetto legato alla costanza della temperatura a fronte di indefiniti scambi di calore.

Ricordiamo, al riguardo, che KELVIN ha esposto il concetto di sorgente di calore (riprendendolo dalla memoria di CLAUSIUS) nella sua memoria del 1851, già citata, nei Punti 7., 8., e 9. (p. 177-178), in cui KELVIN introduce ciò che egli considera “convenzioni”.

Se l'ipotetico sistema considerato da KELVIN nella Nota * non comprende neanche una sorgente, è impossibile introdurre il calore

locale di compensazione (tra due sorgenti); ecco come l'inesistenza del calore locale di compensazione viene trasferita dalla Nota * all'assioma.

KELVIN riesce ad utilizzare (a modo suo) l'assioma nel suo sistema composto da due macchine contrapposte e “due sorgenti” a diverse temperature di funzionamento, perché ha posto la condizione (nascosta) che tra sorgente e refrigeratore non vi sia scambio diretto di calore per conduzione.

4.37 INUTILITA' DELL'ASSIOMA DI KELVIN

Le diverse analisi che abbiamo appena fatto circa la memoria di KELVIN, portano a concludere che la sua dimostrazione del teorema di CARNOT non sia valida per una serie di ragioni che non hanno nulla a che fare con la verità del suo assioma: Ragioni che intervengono prima che si presenti l'opportunità di invocare l'assioma stesso.

Di conseguenza, abbiamo appena scoperto che l'assioma di Kelvin non serve a dimostrare, tramite la dimostrazione per assurdo, il teorema di CARNOT.

4.38 ESERCIZIO PER I LETTORI

Trovare una dimostrazione del teorema di CARNOT che, facendo uso dell'assioma di KELVIN, faccia a meno del principio del terzo escluso.

4.39 CRITICA: FENOMENI NATURALI E “IMPOSSIBILITA' PER L'UOMO”

Analizziamo, sotto altro profilo, il percorso logico seguito da KELVIN fingendo di credere che egli abbia dimostrato la tesi del teorema di CARNOT nella teoria dinamica.

Ora ragioniamo di nuovo sull'assioma di KELVIN, che qui viene riportato per comodità:

“È impossibile, per mezzo di agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti”.

Nonostante la confusione che tale cervelotico enunciato suscita nella mente, sembra evidente che esso non si riferisca a fenomeni naturali, ma in effetti a sistemi artificiali, opera dell'Uomo.

Potrebbe (chiediamoci), qualche fenomeno naturale **usare** un “mezzo” ? Potrebbe, un fenomeno naturale **ottenere** qualcosa ? O non è invece l'Uomo che può fare tutto ciò ?

Se questo è vero, allora non esiste alcuna motivazione di logica che consenta di affermare che l'assioma di KELVIN debba valere anche per i fenomeni naturali.

Al contrario, abbiamo invece verificato che Kelvin, nella sua memoria del 1852, crea un assioma al quale conferisce validità universale.

Nel secondo paragrafo, infatti, abbiamo già visto che KELVIN scrive (p. 514):

“Le conclusioni generali seguenti sono tratte dalla proposizione sopra espressa, e fatti noti con riferimento alla meccanica di corpi animali e vegetali:

1) C'è al momento attuale nel mondo materiale, l'universale tendenza alla dissipazione di energia meccanica.

2) Qualunque ripristino di energia meccanica, senza più di un equivalente di dissipazione, è impossibile in processi materiali inanimati, ed è probabilmente mai realizzata per mezzo di materia organizzata, oppure permessa da vita vegetale o soggetta alla volontà di creature animate.”

Anche TRUESDEL afferma che KELVIN non spiega come dette proposizioni derivino dal suo assioma (*The Tragical History*, p. 306).

Si potrebbe pensare che KELVIN, essendo convinto di aver dimostrato nuovamente il teorema di CARNOT, cioè che soltanto le macchine reversibili, di cui fornisce la definizione, hanno il massimo rendimento possibile, ne tragga la conclusione che tutte le macchine che non corrispondono a tale definizione debbano essere irreversibili.

Secondo questa interpretazione, KELVIN si sarebbe limitato ad elencare quelle trasformazioni che, facendo parte di una certa macchina termica, non consentono (a suo avviso) l'inversione esatta di tutti i parametri e quindi tale macchina non può più produrre il massimo rendimento possibile.

KELVIN, tuttavia, non si limita a questa modesta (sebbene errata) conclusione, perché, come si è visto, estende le conseguenze del suo assioma a tutto l'universo (punto 1): “... *universale tendenza alla dissipazione di energia meccanica*”, senza citare nessun elemento di prova sperimentale.

Al Punto 2) di cui sopra, registriamo che KELVIN ritiene così generale il suo assioma (pur non citando alcun esperimento scientifico in supporto di questa generalità, ed anzi mettendoci lui stesso un “probabilmente” che annulla la validità di tutto il suo discorso), da superare il limite di essere valido per le macchine, e di valere anche i processi materiali inanimati (tutti quelli naturali), per la vita vegetale, ma soprattutto per la volontà dell'Uomo, che infatti è una “creatura animata”.

Questo è un ulteriore e fatale errore di logica di KELVIN, dato che fenomeni naturali e macchine termiche appartengono a due ben distinte categorie, disomogenee tra loro.

È vero, infatti, che le macchine termiche funzionano in base a fenomeni naturali, ma è anche vero che nelle macchine tali fenomeni sono coordinati tra loro in modo ciclico, mentre un tali caratteristiche non esistono in Natura, e quindi la Natura non è in grado di produrre nessuna macchina del genere.

Pertanto, non è lecito affermare che l'assioma comporti la verità del Punto 2, ma KELVIN non si trova nelle condizioni di potersene accorgere, per il seguente motivo.

Si è visto che KELVIN adotta il suo assioma ritenendo che esso abbia validità generale, ma poi egli lo utilizza in un teorema che prende in considerazione non un solo ciclo termodinamico, ma due cicli termodinamici contrapposti.

Dal momento che KELVIN è convinto che la dimostrazione per assurdo di tale teorema sia giusta (e noi abbiamo visto che non lo è), non può concepire l'idea che il suo assioma possa non valere per due cicli contrapposti.

Di conseguenza, KELVIN non può immaginare che qualcuno dei fenomeni da lui ritenuti irreversibili possa diventare reversibile per mezzo di una combinazione di cicli contrapposti.

Forte di questa (errata) convinzione, KELVIN non fa la contro-prova: Non verifica se qualcuno dei predetti fenomeni, da lui ritenuti irreversibili, resterebbe ancora irreversibile se il suo assioma non fosse valido per una combinazione di cicli contrapposti. Se KELVIN avesse fatto tale contro-prova, si sarebbe accorto che molti di quei fenomeni sarebbero rimasti irreversibili, ma non tutti.

Come infatti vedremo in seguito, quando finalmente avremo le idee chiare su come potrebbe essere la struttura interna di una macchina in grado di convertire completamente il calore in energia meccanica (una Macchina Termodinamica Perfetta), la quantità di calore

transitata per conduzione può essere fatta tornare interamente indietro senza provocare “cambiamenti” nel resto dell'universo.

4.40 L'IPOTESI MINIMALISTA DI KELVIN PER LA SUA VERSIONE DEL TEOREMA DI CARNOT

Torniamo a considerare l'aspetto di illogicità della dimostrazione del teorema di CARNOT dovuta a KELVIN accennato in precedenza.

Si tratta della sua decisione di limitare l'ipotesi del teorema ai cicli irreversibili con rendimento “maggiore”, e di non estendere l'ipotesi ai cicli irreversibili che hanno rendimento “uguale” rispetto a quello della corrispondente macchina reversibile.

KELVIN, seguendo le intuizioni di CARNOT, suppone che la presenza di una qualche irreversibilità nei meccanismi interni di una macchina termica debba provocare una “diminuzione” del rendimento effettivamente conseguito, rispetto a quello che si potrebbe ottenere in condizioni ideali.

Ma questa supposizione non può essere posta all'origine di una nuova teoria del calore.

Di conseguenza, non basta limitarsi a “tentare” di dimostrare (ipotesi di KELVIN) che in tali condizioni il rendimento di una macchina irreversibile non può essere “maggiore” del rendimento di una macchina reversibile, ma diventa invece necessario tentare di dimostrare ben di più: che il rendimento di una macchina irreversibile non può essere nemmeno “uguale” al rendimento di una macchina reversibile.

A ben vedere, è soltanto la suddetta limitazione dell'ipotesi di KELVIN che consente di utilizzare (in modo riduttivo) il principio del terzo escluso nel trattamento del teorema, ma il risultato finale che KELVIN crede di aver raggiunto (ma noi abbiamo visto che ciò

non si è verificato) non è quello che egli gli ha attribuito a tale presunto risultato.

Se in effetti una macchina irreversibile può essere esattamente efficiente come una reversibile, allora l'intera aspettativa di KELVIN è vanificata.

4.41 ESERCIZIO PER I LETTORI

Con una dimostrazione per assurdo, dimostrare che una macchina irreversibile non può essere **ugualmente** efficiente come una reversibile.

4.42 CONCLUSIONI SULLA MEMORIA DI KELVIN DEL 1851

Con la memoria del 1851, KELVIN vuole dimostrare che il teorema di CARNOT, originariamente concepito nella teoria del Calorico, può essere salvato nella nuova teoria dinamica. KELVIN ritiene che la sua nuova versione del teorema confermi ciò che vi era di essenziale nel teorema di CARNOT: Il rendimento di qualunque macchina reversibile è il massimo che si possa ottenere a parità di temperature di funzionamento; il rendimento massimo non dipende dal fluido usato ma solo dalle temperature di funzionamento.

Per dimostrare tutto ciò, KELVIN introduce un nuovo assioma.

Le diverse analisi sopra riportate, ma soprattutto il completamento del teorema di KELVIN con l'introduzione dal calore locale di compensazione, hanno permesso di verificare che KELVIN non ha realmente dimostrato i suoi predetti intenti.

L'assioma di KELVIN si è rivelato inutile, in quanto le illogicità da lui introdotte precedono il punto del suo ragionamento in cui sarebbe possibile utilizzare l'assioma stesso.

Infine, anche l'ipotesi avanzata da KELVIN è riduttiva o minimalista, e il risultato della dimostrazione del teorema di CARNOT basata su questa ipotesi non è sufficiente (qualora mai la dimostrazione di KELVIN fosse valida) a mantenere auto-consistente la teoria dinamica del calore che è basata su questo teorema.

Infatti, tale teoria non può coesistere con il concetto che una macchina irreversibile può essere altrettanto efficiente come una reversibile.

TRUESDALL commenta le memorie fin qui esaminate di KELVIN e CLAUSIUS in tal modo:

“In connessione con il lavoro di CLAUSIUS abbiamo visto che, dato che la Teoria del Calorico viene ora rigettata, la costruzione (delle due macchine contrapposte – n.d.r.) non serve più a “ristabilire le cose nel loro stato originale”, dato che non c'è alcuna ragione di attendersi che la quantità di calore nel refrigeratore debba restare invariata. Per trarre ancora la conclusione di Carnot che il lavoro fatto dai due cicli accoppiati sarebbe contrario alla buona fisica (“sound physics”), Kelvin, come CLAUSIUS prima di lui, deve restringere il significato di quel troppo vago modello. Egli stabilisce come assioma una nuova proposizione di ciò che non accade:

È impossibile, per mezzo di agenti inanimati, ottenere un effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto della temperatura del più freddo degli oggetti circostanti.

Questa più forte proibizione consente di trarre di nuovo la conclusione di Carnot. Gli “oggetti circostanti” sono menzionati ma non provvisti di una qualsiasi proprietà sufficientemente specifica da renderli capaci di figurare in una teoria matematica. L'aggiunta di “agenti materiali inanimati” aggiunge il mistero ad un già vago principio; Percy Bridgman (vincitore del Premio Nobel per la fisica

nel 1946 - ndr) la definì una restrizione così sorprendente da essere quasi una ammissione di sconfitta.” (*The Tragicomical History*, p. 225-226).

Del valore generale del teorema di CARNOT, secondo la versione di KELVIN, non resta più nulla.

Per quanto riguarda il fenomeno naturale della conduzione di calore, dobbiamo concludere che fino a questo momento non esiste dimostrazione che esso sia irreversibile, mentre vi sono motivi per ritenere che esso potrebbe essere reversibile.

Non resta altro da fare che vedere se almeno quella versione del Secondo Principio ritenuta esatta dalla odierna Comunità Scientifica, basata sull'assioma di CLAUSIUS, sia valida.

CAPITOLO 5

LE ULTERIORI MEMORIE DI CLAUSIUS SULLA NUOVA FORMA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

5.1 LA SECONDA MEMORIA DI CLAUSIUS DEL 1854

Nel 1854, CLAUSIUS produce una seconda memoria sulla teoria dinamica del calore.

Presumo che egli abbia avuto bisogno di quattro anni di tempo per cercare il modo di porre rimedio (per non doverle rinnegare) alle contraddizioni da lui stesso introdotte nella prima memoria del 1850.

La memoria è intitolata “*Über eine veränderte Form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmtheorie*”, (*Annalen der Physik* - alias: *Poggendorff's Annalen*).

Tale lavoro è stato tradotto in Francese e pubblicato nel 1855; poi pubblicato in lingua Inglese nel 1856 con il titolo “*On a modified Form of the second Fundamental Theorem in the Mechanical*”

Theory of Heat” - (The London, Edinburg and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science [Fourth Series] August 1856).

Essa è consultabile gratuitamente al seguente indirizzo web:

www.biodiversitylibrary.org/item/20044#page/95/mode/1up

Questa memoria fu ripubblicata nel 1863 con il titolo:

“Uber einen Grundsatz der mechanischen Warmtheorie”.

Quest'ultimo lavoro si trova, sebbene con note, anche nella raccolta completa della teoria meccanica del calore di CLAUSIUS, pubblicata con il titolo *“Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie”*, 1864, leggibile, gratuitamente, in lingua tedesca al seguente indirizzo web:

<https://archive.org/stream/abhandlungenber00claugoog#page/n1/mode/2up>

CLAUSIUS pubblica nel 1865 una terza memoria intitolata: *“Sur diverse formes facilement applicables qu'on peut donner aux équation fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur”*, (Journal de mathématiques pure et appliquées 2° série, tome 10 (1865), p. 361-400).

In tale memoria, CLAUSIUS rielabora i concetti da lui espressi sul secondo teorema fondamentale della termodinamica. Tale pubblicazione è reperibile, gratuitamente, in lingua francese al seguente indirizzo web:

https://webusers.imj-prg.fr/~david.aubin/cours/Textes/Clausius1865MemoireIX_TD.pdf

Nel 1879 CLAUSIUS pubblica la raccolta completa dei suoi lavori di termodinamica: il volume *“The Mechanical Theory of Heat”* - MACMILLAN AND CO., rintracciabile al seguente sito web:

<https://archive.org/stream/cu31924101120883#page/n5/mode/2up>

Le memorie di CLAUSIUS relative alla teoria dinamica del calore, dal 1850 al 1865, si trovano ai seguenti indirizzi web:

www.humanthermodynamics.com/CLAUSIUS.html

oppure:

<https://books.google.it/books?id=8LIEAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false>

Ogni volta che CLAUSIUS pubblica una nuova versione circa un medesimo argomento, apporta qualche modifica ai concetti espressi in precedenza.

Non conviene effettuare un esame critico di tutte le suddette edizioni, quindi concentreremo l'attenzione su tre sue memorie, pubblicate nel 1854, 1865 e nel 1879, al solo scopo di evidenziare che gli errori contenuti nella memoria di CLAUSIUS del 1850 sono rimasti fino all'ultima edizione.

Per facilitare la individuazione di questi errori, sarà necessario riportare integralmente i passaggi cruciali di tali pubblicazioni.

5.2 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI CIRCA LA SECONDA MEMORIA DI CLAUSIUS

Iniziamo il nostro esame critico della memoria pubblicata nel 1854, prendendo in considerazione la sua traduzione dal Tedesco in Inglese pubblicata nel 1856 dal già citato *Philosophical Magazine and Journal of Science* (Vol. XII, Fourth Series – July-December 1856), p. 81-98. A tale riguardo, possiamo iniziare a dire quanto segue.

All'inizio di questa pubblicazione, CLAUSIUS menziona la sua precedente memoria (1850), e ricorda che essa già contiene la dimostrazione del teorema di CARNOT in una forma che tiene conto dei nuovi dati sperimentali, ma egli fa notare che tale forma è incompleta; al riguardo egli ora afferma che (p.81):

“Questa forma, tuttavia, sebbene possa bastare per la deduzione delle equazioni che dipendono dal teorema, è incompleta, perché in essa non possiamo apprezzare, con sufficiente chiarezza, la reale natura del teorema, e le sue connessioni con il primo teorema fondamentale. La forma modificata nelle pagine seguenti potrà, io credo, meglio soddisfare questa domanda, e nelle sue applicazioni sarà trovata molto conveniente.”

CLAUSIUS suggerisce, in pratica, **di trascurare** la sua precedente memoria del 1850, ma noi non possiamo seguire questo suggerimento, perché stiamo cercando di comprendere le ragioni più profonde che hanno indotto CLAUSIUS ad adottare il suo famoso assioma per il Secondo Principio della Termodinamica.

I risultati che otterremo dal confronto di queste due memorie di CLAUSIUS saranno talmente interessanti da giustificare la fatica spesa.

Nella nuova memoria, CLAUSIUS inizia a ridefinire il Primo Principio della Termodinamica ed elabora, in termini matematici, il Teorema di equivalenza di Calore e Lavoro (p. 82-83).

Poi CLAUSIUS riprende alcuni concetti relativi a un ciclo di CARNOT espressi nella prima memoria, ricordando di aver individuato due diverse tipologie di forze che si manifestano in una trasformazione:

- 1) forze interne, di tipo microscopico, tra atomi e molecole;
- 2) forze esterne macroscopiche che coinvolgono la massa del fluido.

Nella sua prima memoria, CLAUSIUS aveva considerato un ciclo di CARNOT al fine di semplificare lo sviluppo della teoria.

In effetti, se un fluido compie una trasformazione a ciclo chiuso, tutte le proprietà termodinamiche del fluido devono tornare al valore originario, per cui il lavoro interno del ciclo (tra atomi e molecole) è nel complesso nullo.

Considerare cicli chiusi consente, quindi, di fare a meno di calcolare il lavoro interno, con una notevole semplificazione (o vantaggio) per lo sviluppo della teoria.

5.3 IL TEOREMA DI EQUIVALENZA CALORE-LAVORO E IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

CLAUSIUS enuncia il Teorema di equivalenza Calore-Lavoro delle trasformazioni con la seguente proposizione (p. 82):

“Il lavoro meccanico può essere trasformato in calore, e inversamente il calore in lavoro, la grandezza dell'uno essendo sempre proporzionale a quella dell'altro.”

CLAUSIUS dimostra questo Teorema di equivalenza (calore = lavoro meccanico) scrivendo (p. 82):

“Le forze che qui entrano in considerazione possono essere divise in due classi: quelle che gli atomi di un corpo esercitano uno sull'altro, e che dipendono, logicamente, dalla natura del corpo, e quelle che sorgono dalle influenze esterne alle quali il corpo può essere esposto. In base a queste due classi di forze che devono essere superate, ho diviso il lavoro compiuto dal calore in lavoro interno ed esterno, che sono assoggettati a leggi essenzialmente differenti. Rispetto al lavoro interno, è facile vedere che quando un corpo, partendo dalla sua condizione iniziale, è sottoposto a una serie di modificazioni e al termine ritorna al suo stato originario, le quantità di lavoro interno così prodotte devono cancellarsi esattamente l'una con l'altra. Poiché se rimanesse una quantità di lavoro interno positiva o negativa, essa dovrebbe produrre una quantità di lavoro esterno opposta oppure un cambiamento nella quantità di calore esistente, e siccome lo stesso processo si potrebbe ripetere per un numero qualunque di volte, diventerebbe possibile, secondo il segno, o produrre lavoro o calore in continuazione dal nulla, oppure perdere lavoro o calore continuamente, senza ottenere alcun

equivalente; entrambi i casi essendo universalmente considerati impossibili.”

Osserviamo che l'ultima proposizione è in realtà una dimostrazione per assurdo, che CLAUSIUS usa per correggere i concetti errati espressi nella sua precedente memoria, come ad esempio l'idea (errata) che i corpi A e B tornino nel loro stato di origine al termine delle trasformazioni.

Le modifiche che ora CLAUSIUS apporta sono sostanziali; innanzi tutto, egli **non considera più lo stato dei due corpi A e B** al termine delle trasformazioni del fluido, bensì **lo stato di detto fluido** al termine delle sue trasformazioni.

Vedremo nel seguito quali altre sostanziali modifiche CLAUSIUS dovrà apportare alle proprietà dei citati corpi A e B, per tentare di “rattoppare”, per non doverla smentire, l'irrazionalità segnalata nel precedente paragrafo 4.12.

Per quanto riguarda la suddetta dimostrazione, i casi possibili sono soltanto due, e ciò rende utilizzabile in principio del terzo escluso, che infatti è stato usato da CLAUSIUS per portare a termine la sua dimostrazione per assurdo.

Inoltre, l'assioma sul quale si basa la dimostrazione è il generale principio di conservazione dell'energia (se rimanesse una quantità di lavoro... diventerebbe possibile ...produrre lavoro ...dal nulla).

Tale assioma rappresenta l'applicazione del generale principio di conservazione dell'energia alla termodinamica.

In definitiva, non ci sono elementi per mettere in discussione questa dimostrazione di CLAUSIUS del Primo Principio della Termodinamica.

A pagina 83, CLAUSIUS considera una trasformazione qualunque (quindi anche non ciclica) e in relazione ad essa esprime il Primo

Principio in forma matematica con la seguente equazione, che chiama con la lettera maiuscola (I):

$$Q = U + AW \quad (I)$$

dove Q è la quantità di calore impegnata dalla trasformazione;

U è la variazione di energia che si verifica tra il punto iniziale e quello finale della trasformazione che è causato al lavoro eseguito internamente (tra atomi e/o molecole);

A è l'equivalente di calore (per una unità di lavoro);

W è la quantità di lavoro esterno, per cui il prodotto di A per W (AW) rappresenta quanto calore equivale al lavoro W .

La quantità di calore Q , necessaria per eseguire l'intera trasformazione, viene così calcolata come somma di due quantità di calore: U e AW .

Quest'ultima è quella che noi riusciamo a sperimentare direttamente. Ma essa non rappresenta l'intero ammontare, perché un'altra parte, la U , può intervenire a cambiare il totale.

Se la trasformazione forma un ciclo chiuso, allora U vale zero, perché il punto finale coincide con quello iniziale.

In questo caso, l'equazione generale del Primo Principio (I) si semplifica e diventa la seguente:

$$Q = A W \quad (1)$$

Con considerazioni del genere, CLAUSIUS riesce ad aggiudicarsi il primato di definire il Primo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

5.4 ULTERIORI RESTRIZIONI IMPOSTE DA CLAUSIUS ALLA TEORIA

CLAUSIUS vuole dare alle equazioni del Primo Principio della Termodinamica una forma speciale, ma per fare ciò ha bisogno di

imporre al sistema delle speciali restrizioni. Le prime che impone sono le seguenti (p. 84):

“Al fine di dare una forma particolare all'equazione (I), in cui essa debba esprimere proprietà definite dei corpi, dobbiamo fare delle assunzioni speciali rispetto alle influenze esterne alle quali il corpo (il fluido variabile – ndr) è esposto. Ad esempio, dobbiamo assumere che la sola forza attiva, o almeno la sola che richiede considerazione per la determinazione del lavoro, sia una pressione esterna dappertutto ortogonale alla superficie, ed ugualmente intensa in ogni punto della stessa, che è sempre per il caso con liquidi e corpi gassosi quando altre forze sono assenti, e potrebbe anche essere il caso con corpi solidi. Si vedrà che in queste condizioni non è necessario, nel determinare il lavoro esterno, considerare le variazioni di forma sperimentate dal corpo, e la sua espansione o contrazione in direzioni diverse, ma soltanto la variazione totale del suo volume. Assumeremo ulteriormente che la pressione cambi sempre molto gradualmente, cosicché in ogni istante essa differisca così poco dalla forza espansiva del corpo, che entrambe posano essere considerate uguali. Pertanto la pressione costituisce una proprietà del corpo stesso, che può essere determinata dalle sue contemporanee proprietà.”

Queste sono le prime restrizioni che CLAUSIUS impone (ma vedremo che ne dovrà imporre anche altre).

Esse gli consentono di esprimere l'equazione (I) (ovvero, il Primo Teorema Fondamentale della Termodinamica) in una forma differenziale.

Non è importante riportare i dettagli di questa forma differenziale. Ciò che di rimarchevole c'è da ricordare, invece, è il fatto che CLAUSIUS ha avuto bisogno di introdurre le suddette restrizioni. Ne riparleremo infatti in seguito.

5.5 NUOVA FORMULAZIONE DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA - PARTE PRIMA: PROCESSI REVERSIBILI

Dopo aver brillantemente chiuso l'argomento del Primo Principio della Termodinamica, CLAUSIUS inizia un nuovo capitolo della seconda memoria, per dare una diversa formulazione anche al Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica, rispetto a quella che egli stesso aveva elaborato nella sua prima memoria.

Circa questo nuovo Capitolo, il lavoro che ci proponiamo di eseguire consiste in due fasi.

Il primo passo consiste nell'evidenziare i passaggi cruciali dei ragionamenti di CLAUSIUS.

Il secondo passo, invece, consiste in una serie di critiche, nelle quali sono evidenziati quelli che lo scrivente ritiene siano gli errori di logica introdotti da CLAUSIUS nei suoi ragionamenti.

CLAUSIUS divide la trattazione in due parti; nella prima parte, si occupa dei cicli reversibili mentre nella seconda parte dei cicli irreversibili.

La prima parte inizia a pagina 85 con il paragrafo intitolato “Teorema dell'equivalenza delle trasformazioni”, ove si legge:

“Il teorema di Carnot, allorché posto in accordo con il primo teorema fondamentale, esprime una relazione tra due tipi di trasformazioni, la trasformazione di calore in lavoro, e il passaggio di calore da un corpo più caldo ad uno più freddo, che può essere considerato come la trasformazione di calore a temperatura superiore a temperatura inferiore. Nella sua forma originale esso può essere enunciato in un modo come il seguente:- In tutti i casi dove una quantità di calore è convertita in lavoro, e dove il corpo che effettua la trasformazione infine ritorna alla sua condizione originaria, un'altra quantità di calore deve necessariamente essere

trasferita da un corpo più caldo ad uno più freddo; e la grandezza dell'ultima quantità di calore, in relazione alla prima, dipende solo dalle temperature dei corpi tra i quali il calore passa, e non dalla natura dei corpi che effettuano la trasformazione.”

È chiaro, pertanto, che CLAUSIUS si appresta a dare una nuova dimostrazione al teorema di CARNOT, diversa da quella da lui stesso data nella prima memoria.

Per una più agevole comprensione di quanto segue, anticipo subito che CLAUSIUS intende giungere a tale risultato tramite la dimostrazione che esiste una relazione costante, che non dipende dalla sostanza impiegata come corpo variabile, tra la quantità di calore trasformata in lavoro e la quantità di calore ricevuta dal corpo freddo (il refrigeratore, o radiatore), e che tale relazione è indipendente dalla sostanza impiegata come corpo variabile.

Come vedremo, CLAUSIUS trasformerà questo teorema nel Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

Tuttavia, mentre il ragionamento svolto da CLAUSIUS relativamente al Primo Teorema Fondamentale della Termodinamica può essere considerato condivisibile, non lo stesso si può dire su ciò che segue nella sua memoria del 1854, relativamente al Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

Ora CLAUSIUS vuole dimostrare il teorema espresso “nella sua forma originale” come sopra riportata, ma ritiene che il ciclo di CARNOT sia troppo semplice e quindi ne introduce uno più complesso.

È assolutamente necessario riportare integralmente alcuni stralci di questa memoria di CLAUSIUS, perché è proprio in essi che iniziano a manifestarsi i suoi errori più clamorosi.

Iniziamo da pagina 86:

*“La dimostrazione di questo teorema, tuttavia, è basata su un processo troppo semplice, in cui sono impiegati solo due corpi che perdono o ricevono calore, e dove è tacitamente assunto che uno dei due corpi tra i quali ha luogo la trasmissione del calore sia la sorgente del calore che viene convertito in lavoro. Ma in questo modo, assumendo preventivamente una temperatura particolare per il calore convertito in lavoro, resta occultata l'influenza che un cambiamento di questa temperatura esercita sulla relazione tra le due quantità di calore, e quindi il teorema nella forma di cui sopra è incompleto. È vero che questa influenza può essere determinata senza grande difficoltà combinando il teorema nella forma limitata di cui sopra con il primo teorema fondamentale, e quindi completando il precedente aggiungendo ad esso i risultati a cui si è arrivati. Ma tramite questo metodo indiretto l'intera materia perderebbe molta della sua chiarezza e facilità di supervisione, e da questo punto di vista mi sembra preferibile dedurre la forma generale del teorema immediatamente dallo stesso principio che ho già utilizzato nella mia precedente memoria, al fine di dimostrare la forma modificata del teorema di Carnot. Questo principio, sul quale il complesso del seguente sviluppo si fonda, è come segue:- **Il calore non può mai passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.** Tutto ciò che conosciamo riguardo l'interscambio di calore tra due corpi a diversa temperatura lo conferma, poiché dappertutto il calore manifesta una tendenza ad equalizzare le differenze di temperatura esistenti, e quindi a passare in una direzione contraria, cioè da corpi più caldi a corpi più freddi. Senza altre spiegazioni, quindi, la verità del principio sarà garantita.”*

È a partire dal principio **“Il calore non può mai passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro**

cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo”, che la Logica di questa seconda memoria di CLAUSIUS inizia a vacillare.

Non è facile accorgersi di tali ondeggiamenti; per farlo, è necessario aver esaminato, con spirito critico, la precedente memoria di CLAUSIUS del 1850, cosa che abbiamo fatto e puntualmente riportato in un precedente Capitolo.

Il confronto di queste due memorie di CLAUSIUS consente di mettere in evidenza più di un problema di Logica.

Il primo interrogativo lo fa emergere la frase sopra sottolineata “... mi sembra preferibile dedurre la forma generale del teorema immediatamente dallo stesso principio che ho già utilizzato nella mia precedente memoria...”.

5.6 LE MEMORIE DI CLAUSIUS DEL 1850 E 1854 A CONFRONTO – IDENTIFICAZIONE DELL'ASSIOMA DI CLAUSIUS

Se andiamo a rileggere la precedente memoria di CLAUSIUS del 1850, non troviamo l'esplicita dichiarazione di un tale principio (o sarebbe meglio dire “assioma”). Ricordiamo, tuttavia, che egli in quella memoria aveva espresso la seguente proposizione (p. 45):

“...poiché più calore sarebbe trasportato da B (corpo freddo) ad A (corpo caldo) di quello da A a B, e quindi nel complesso si verificherebbe una trasmissione da B ad A (da un corpo freddo ad uno più caldo).”

Questa proposizione è seguita da un'altra con la quale CLAUSIUS nega che tale evento si possa mai verificare:

“Pertanto, ripetendo questi due processi alternanti, sarebbe possibile, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento, ottenere che una qualsiasi quantità di calore passi da un corpo

freddo ad uno caldo, e ciò contraddice gli altri comportamenti del calore, dato che il calore dovunque contrasta o livella queste differenze di temperatura quando si verificano e quindi passa da corpi caldi a corpi più freddi.”

Questa seconda proposizione costituisce, in pratica, una dimostrazione per assurdo.

Nella sua prima memoria, con l'insieme delle due proposizioni di cui sopra, CLAUSIUS intende significare che se la seconda proposizione fosse vera, allora, al termine dei processi si verificherebbe uno spostamento di calore da un corpo freddo (*B*) ad uno più caldo (*A*) senza spendere alcuna forza o altro cambiamento.

Questo costituirebbe una assurdità (concetto necessario per la dimostrazione per assurdo) in quanto, secondo CLAUSIUS, “*il calore ovunque contrasta o livella queste differenze (di temperatura – ndr)*”.

Mettendo insieme tutte queste considerazioni, si comprende ciò che a pagina 86 non era chiaro: CLAUSIUS vuole significare che nella prima memoria del 1850 era contenuto il concetto che non è possibile ottenere complessivamente uno spostamento di calore da un corpo freddo ad uno più caldo, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento.

Il testo sottolineato rappresenta l'assioma di CLAUSIUS estrapolato dalla prima memoria.

Infatti, a pagina 86 della seconda memoria, egli infatti lo formalizza con la seguente proposizione:

“Il calore non può passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo”.

Subito dopo, apparentemente per giustificare la verità dell'assioma, egli aggiunge:

“Tutto ciò che conosciamo riguardo l'interscambio di calore tra due corpi a diverse temperature conferma ciò, dato che ovunque il calore manifesta una tendenza a equalizzare le esistenti differenze di temperatura, e quindi a transitare in direzione contraria, cioè, da corpi più caldi a più freddi. Senza altre spiegazioni, perciò, la verità del principio sarà garantita.”

Incidentalmente, osserviamo quanto segue.

Dalla precedente analisi del ragionamento di CLAUSIUS si deduce che il suo assioma scaturisce dall'osservazione sperimentale dei fenomeni naturali, e non ha alcuna relazione con le capacità tecnologiche del genere umano.

L'assioma di CLAUSIUS sembra completamente diverso da quello di KELVIN. Ricordiamo, infatti, che l'assioma di KELVIN imponeva un limite alle capacità tecnologiche dell'Uomo.

Pertanto, questi due assiomi non possono essere “esattamente” equivalenti, come invece al giorno d'oggi si sostiene in base ad argomenti di logica matematica classica.

Lasciamo pendente questo argomento, con riserva di approfondirlo in seguito.

5.7 IL CONCETTO DI CLAUSIUS SULL'EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI REVERSIBILI COME COROLLARIO DEL TEOREMA DI CARNOT

Proseguiamo ora nell'esame della memoria del 1854, per comprendere ciò che CLAUSIUS ha creduto di dimostrare in tale memoria, senza in realtà riuscirci.

L'intento che CLAUSIUS si propone di affrontare nella seconda parte della memoria del 1854, è quello di dimostrare che, sotto certe condizioni, vale il teorema di CARNOT, il quale, una volta

dimostrato, consente di definire il concetto di “equivalenza” di trasformazioni termodinamiche reversibili.

La dimostrazione di CLAUSIUS del “Teorema dell'equivalenza delle trasformazioni”, parte dal seguente enunciato del teorema di CARNOT, riportato in accordo con la teoria dinamica del calore (in pratica, con il Primo Principio della Termodinamica) (p. 85):

“In tutti i casi in cui una quantità di calore è convertita in lavoro, e in cui il corpo che effettua tale trasformazione torna infine alla sua condizione originale, un'altra quantità di calore deve essere necessariamente trasferita da un corpo più caldo ad uno più freddo; e il valore di quest'ultima quantità di calore, in relazione alla prima, dipende soltanto dalle temperature dei corpi tra i quali il calore transita, e non dalla natura del corpo che effettua la trasformazione”.

CLAUSIUS dichiara (p. 86) che la dimostrazione di questo teorema è basata sul suo assioma che, come già visto e criticato in precedenza, è:

Il calore non può passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.

CLAUSIUS ritiene però che il ciclo di CARNOT sia troppo semplice e non consenta di apprezzare tutte le implicazioni (p. 86).

Egli introduce, pertanto, un ciclo più complesso in cui uno stesso gas viene sottoposto a una serie di trasformazioni di espansione, compressione, raffreddamento e riscaldamento in tutto uguali al ciclo di CARNOT ma in numero maggiore.

Ove il ciclo di CARNOT prevede due trasformazioni adiabatiche e due isoterme, il nuovo ciclo ne comprende tre per tipo. Anche il numero dei corpi che scambiano calore (le cosiddette Riserve di

Calore) viene aumentato, da due del ciclo di CARNOT a tre per il nuovo ciclo.

Nel paragrafo seguente è riportato esattamente il contenuto di pagina 86-88, nella parte in cui CLAUSIUS descrive i dettagli del nuovo ciclo complesso.

Chi non fosse interessato a tali dettagli, può saltare il paragrafo e tornare a leggere dal paragrafo ancora successivo, dove il nuovo ciclo complesso è comunque descritto in termini più semplici.

5.8 IL CICLO COMPLESSO A TRE CORPI DI CLAUSIUS

A fine pagina 86 troviamo:

“Consideriamo, pertanto, una quantità di gas permanente con temperatura t e volume v .

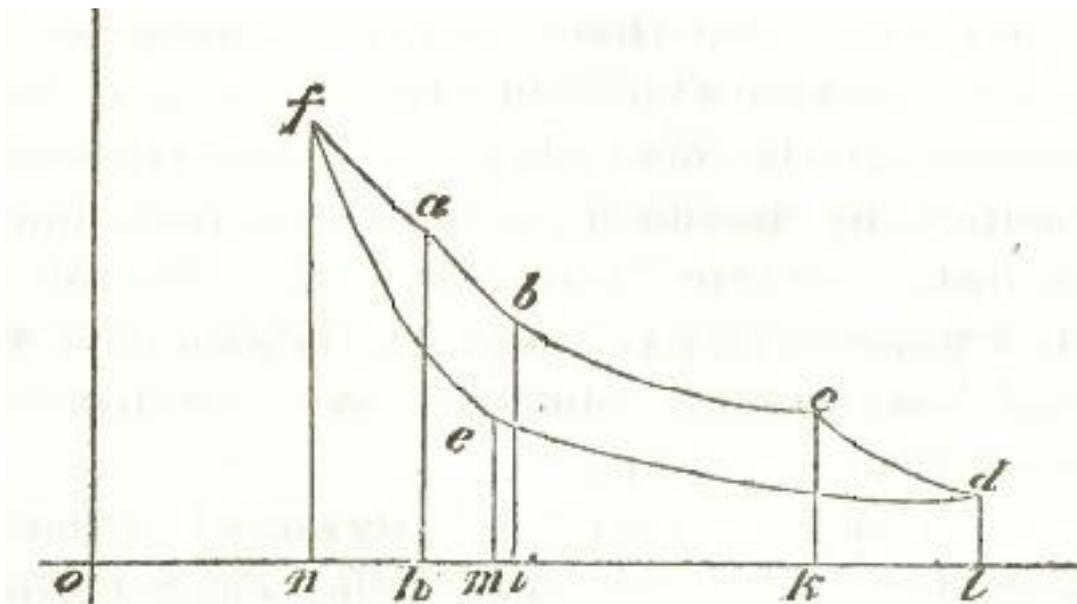


Fig. 5.1

Nella figura adiacente (Fig. 5.1 – ndr) abbiamo supposto che il volume sia rappresentato dall'ascissa oh , e la pressione esercitata dal gas a tale volume, e alla temperatura t , dall'ordinata ha . Tale gas è soggetto, successivamente, alle seguenti operazioni:

1) La temperatura t del gas è cambiata a t_1 , che, per esempio, può essere inferiore a t . Per fare ciò, il gas può essere racchiuso dentro

una superficie impenetrabile al calore. La diminuzione di pressione, conseguente al simultaneo aumento di volume e diminuzione di temperatura, è rappresentata dalla curva ab ; cosicché, quando la temperatura del gas ha raggiunto t_1 , volume e pressione sono diventati q_i e ib rispettivamente.

2) Il gas è quindi posto in comunicazione con un corpo K_1 , a temperatura t_1 , e fatto espandere ancor più, in modo tale, tuttavia, che tutto il calore perduto nell'espansione sia di nuovo fornito dal corpo. Rispetto a questo corpo, dobbiamo assumere che, data la sua grandezza o qualche altra causa, la sua temperatura non diventi apprezzabilmente minore per via di questa perdita di calore, e quindi che essa possa essere considerata costante. Conseguentemente, durante l'espansione il gas manterrà anche una temperatura costante, e la diminuzione della pressione sarà rappresentata dalla porzione di una iperbole equilatera bc . La quantità di calore fornita da K_1 sarà Q_1 .

3) Il gas è ora separato dal corpo K_1 e fatto espandere ancor più, ma senza ricevere o perdere calore, finché la sua temperatura è diminuita da t_1 a t_2 . La conseguente diminuzione di pressione è rappresentata dalla curva cd , che è della stessa natura di ab .

4) Il gas è ora posto in comunicazione con un corpo K_2 , con temperatura costante t_2 , e compresso; tutto il calore così prodotto in esso essendo impartito a K_2 . Questa compressione continua finché K_2 ha ricevuto la stessa quantità di calore Q_1 che è stata prima fornita da K_1 . La pressione aumenterà secondo l'iperbole equilatera de .

5) Il gas è quindi separato dal corpo K_2 e compresso, senza che gli sia permesso ricevere o perdere calore, fintanto che la sua temperatura sale da t_2 al suo valore originario t , la pressione aumenta secondo la curva ef . Il volume on al quale il gas è quindi ridotto è inferiore rispetto a quello originario oh , dato che la

pressione che doveva essere superata nella compressione de, e quindi il lavoro da spendere, erano inferiori rispetto alle ampiezze corrispondenti durante l'espansione bc; cosicché, per ripristinare la stessa quantità di calore Q_1 , la compressione deve essere proseguire oltre quanto sarebbe necessario per annullare semplicemente le espansioni.

6) Il gas è infine posto in comunicazione con un corpo K, a temperatura costante t , e fatto espandere fino al suo volume originario oh, il corpo K fornisce il calore perso in tal modo, il cui valore può essere Q . Quando il gas raggiunge il volume oh con temperatura t , deve esercitare la sua pressione originaria, e l'iperbole equilatera, che rappresenta l'ultima diminuzione di pressione, si ricongiungerà precisamente al punto a. Questi sei cambiamenti costituiscono insieme un "processo circolare, il gas infine ritorna alla sua condizione originaria."

Dopo aver descritto, con minuzia di dettagli, il ciclo complesso, CLAUSIUS ritiene di poter esprimere le seguenti due proposizioni (p.88):

"Di questi tre corpi K, K_1 e K_2 , che durante tutto il processo sono considerati semplicemente come sorgenti o riserve di calore, i primi due hanno perduto le quantità di calore Q e Q_1 , il terzo ha ricevuto la quantità Q_1 , o, come si può dire, Q_1 è stato trasferito da K_1 a K_2 , e Q è scomparso. Quest'ultima quantità di calore deve, secondo il primo teorema, essere stata convertita in lavoro esterno."

5.9 SINOSI DEL CICLO A TRE CORPI DI CLAUSIUS

Per riassumere e spiegare meglio la parte sopra riportata della seconda memoria di CLAUSIUS, si può dire che egli ritiene che sia possibile dimostrare, in generale, che una qualunque trasformazione reversibile può essere sostituita da un'altra, sempre reversibile; ciò

che lui chiama “Teorema di equivalenza delle trasformazioni” (p. 85):

“Qualunque trasformazione reversibile può essere sostituita con un'altra trasformazione, a condizione che quest'ultima sia reversibile.”

CLAUSIUS ritiene che il ciclo di CARNOT sia troppo semplice per consentire di dare una dimostrazione generale di tale concetto, e ciò impedisce di apprezzare le importanti conseguenze del nuovo teorema.

Il ciclo complesso concepito da CLAUSIUS si compone delle stesse trasformazioni del ciclo di CARNOT, cioè espansioni e compressioni adiabatiche, e espansioni e compressioni isoterme, ma il loro numero è maggiore rispetto al semplice ciclo di CARNOT.

CLAUSIUS immagina queste trasformazioni concatenate, l'una dopo l'altra, in modo da formare un ciclo chiuso come nella precedente Figura 5.1.

Tale ciclo, essendo composto da sole trasformazioni reversibili, costituisce, nel complesso, un ciclo reversibile.

Inizialmente, CLAUSIUS si limita a tre isoterme e tre adiabatiche di un gas. Per rendere possibili le tre isoterme, CLAUSIUS deve includere tre corpi con i quali il gas può scambiare calore.

Ma ora CLAUSIUS deve correggere l'errore contenuto nella precedente memoria del 1850, per cui introduce una fondamentale differenza. Ora i corpi A e B , che nella precedente memoria scambiavano calore, sono sostituiti con i corpi K , K_1 e K_2 , i quali non sono più corpi realmente esistenti. Mentre i corpi A e B potevano cambiare di temperatura quando scambiavano calore, ora i corpi K , K_1 e K_2 hanno una proprietà inesistente in natura: mantengono costante la loro temperatura anche a fronte di illimitati scambi di calore - sono diventati “sorgenti” di calore.

K è il corpo alla temperatura T , mentre K_1 e K_2 sono i corpi alle temperature T_1 e T_2 , dove $T > T_1 > T_2$; le quantità di calore che tali corpi scambiano con il gas sono denominate, rispettivamente, Q , Q_1 e Q_2 le quantità di calore da essi rispettivamente scambiate.

I parametri sono aggiustati in modo che il corpo K perda la quantità di calore Q e K_1 perda la quantità Q_1 , mentre K_2 riceve la quantità Q_1 .

Tutto ciò, secondo CLAUSIUS, equivale a dire che (p. 88):

“ Q_1 è stata trasferita da K_1 a K_2 , e Q è scomparsa (dal corpo K – ndr). L'ultima quantità di calore (Q – ndr) deve, secondo il primo teorema, essere stata convertita in lavoro esterno.”

Per concludere la sua dimostrazione, CLAUSIUS immagina di invertire il ciclo a tre corpi.

Nelle Pag. 88-89, infatti, CLAUSIUS immagina che il ciclo complesso venga fatto percorrere in senso inverso.

Poiché tale ciclo è composto da sole trasformazioni reversibili, tutte le quantità in gioco restano uguali in valore assoluto ma cambiano di segno algebrico.

CLAUSIUS, pertanto, ritiene che questa volta la quantità di calore Q_1 sia trasferita da K_2 a K_1 mentre il lavoro produce la quantità di calore Q che viene fornita al corpo K .

L'inversione del senso di marcia del ciclo implica anche che il lavoro venga ora assorbito (invece di essere prodotto) e quindi convertito nella quantità di calore Q che viene fornita a K .

5.10 IL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI REVERSIBILI SECONDO CLAUSIUS

Dopo aver terminato la descrizione minuziosa del ciclo complesso, ed aver espresso la sua opinione circa la quantità di calore

consumata nel ciclo motore e quella generata nel ciclo invertito, CLAUSIUS espone quel ragionamento che egli ritiene dimostri il teorema di CARNOT nel sistema a tre corpi, e conseguentemente l'esistenza del concetto di Equivalenza delle trasformazioni (reversibili).

La sua idea di base è quella di dimostrare che tra la quantità di calore Q trasformata in lavoro, e la quantità di calore ricevuta dal corpo più freddo, esiste una relazione costante che non dipende dalla sostanza impiegata ma solo dalle temperature. Qui nel seguito è riportato il testo originale a partire dall'ultima riga di p. 88:

“Per comprendere la mutua dipendenza delle due simultanee trasformazioni sopra descritte, dobbiamo prima assumere che la temperatura delle tre riserve di calore resti la stessa, ma che il processo circolare attraverso il quale le trasformazioni vengono effettuate siano diversi. Questo sarà il caso quando, invece di un gas, qualche altro corpo sia sottoposto a simili trasformazioni, o quando i processi circolari sono di qualunque altro tipo, soggetti soltanto alle condizioni che i tre corpi K , K_1 e K_2 siano i soli che ricevono o cedono calore, e che l'ultimo dei due riceva tanto calore quanto l'altro ne perde. Questi numerosi processi possono essere sia reversibili, come nel caso precedente, oppure no, e la legge che governa le trasformazioni varierà di conseguenza. In ogni caso, le modificazioni che la legge per i processi non-reversibili subisce può essere facilmente applicata in seguito, cosicché al momento ci limitiamo alla considerazione di processi circolari “reversibili”.

Con riferimento a tutti questi si può dimostrare dal precedente principio, che la quantità di calore Q_1 , trasferita da K_1 a K_2 , ha sempre la stessa relazione con Q , la quantità di calore trasformata in lavoro. Dato che se esistessero due di tali processi in cui, Q restando lo stesso, Q_1 fosse diverso, allora i due processi potrebbero essere eseguiti successivamente, quello in cui Q_1 fosse minore in

modo diretto, l'altro in maniera opposta. Allora la quantità di calore Q , che tramite il primo processo è stato convertito in lavoro, potrebbe essere di nuovo trasformata in calore dal secondo processo e ripristinata al corpo K , e rispetto a tutto il resto ogni cosa ritornerebbe infine alla sua condizione originaria; con la sola eccezione, tuttavia, che più calore sarebbe passato da K_2 a K_1 rispetto alla direzione opposta. Nel complesso, quindi, vi sarebbe una trasmissione di calore da un corpo più freddo K_2 ad uno più caldo K_1 , che, in contraddizione con il principio prima menzionato, non è stata compensata in nessuna maniera.

Delle due trasformazioni in tale processo reversibile ognuna può essere rimpiazzata dall'altra, se l'ultima è condotta in direzione opposta; cosicché se la trasformazione di un tipo si è verificata, questa può di nuovo essere invertita, e una trasformazione dell'altro tipo può essere sostituita senza che nessun altro cambiamento permanente sia richiesto. Ad esempio, sia Q la quantità di calore prodotta in qualunque maniera da lavoro, ricevuta dal corpo K ; allora tramite il processo circolare di cui sopra essa può essere ancora sottratta al corpo K e trasformata di nuovo in lavoro, ma allo stesso tempo la quantità di calore Q_1 passerà da K_1 a K_2 ; o se la quantità di calore Q_1 sia stata in precedenza trasferita da K_1 a K_2 , questa può essere di nuovo ripristinata a K_1 tramite la trasformazione di lavoro nella quantità di calore Q alla temperatura del corpo K .

Vediamo, pertanto, che queste due trasformazioni possono essere considerate come fenomeni della stessa natura, e possiamo definire due trasformazioni che così si rimpiazzano reciprocamente "equivalenti". Ora dobbiamo trovare la legge secondo la quale le trasformazioni devono essere espresse come valori matematici, al fine che l'equivalenza di due trasformazioni sia evidente dalla uguaglianza dei loro valori. Il valore matematico di una

trasformazione così determinato può essere chiamato il suo “valore-equivalente” (Aequivalenzwerth).”

5.11 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

Nel paragrafo precedente è riportata, letteralmente, la parte della seconda memoria di CLAUSIUS relativa alla dimostrazione per assurdo del teorema di CARNOT, e del conseguente concetto di “Equivalenza delle Trasformazioni” (reversibili).

Come si vede, si tratta di un discorso piuttosto “frettoloso”, in quanto vi sono affastellati, inestricabilmente, troppi concetti.

Nel presente paragrafo viene svolta una analisi del suddetto discorso, per individuare la Tesi, l'Ipotesi, l'Assioma e le Condizioni al fine di poter discutere criticamente, con certezza di termini, la dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS.

Questo programma di analisi, tuttavia, non si può realizzare se non si individuano tre distinte configurazioni del sistema ideato da CLAUSIUS:

- A) La configurazione di cicli identici con lo stesso gas;
- B) Quella di cicli identici ma con gas diversi;
- C) Quella, infine, di cicli totalmente differenti sia per trasformazioni che per gas impiegato.

Ognuna di queste configurazioni ha bisogno di una specifica analisi concettuale.

In apparenza, la prima configurazione può sembrare banale, dato che, in definitiva, si tratta di dimostrare che una trasformazione reversibile è equivalente a sé stessa.

Noi, però, tratteremo anche questa configurazione, principalmente per instaurare un modello di approccio che dovrà essere applicato anche alle altre due configurazioni.

Come si vede a pagina 89, secondo paragrafo, CLAUSIUS vorrebbe dimostrare la parte essenziale del teorema di CARNOT dimostrando che per un singolo ciclo funzionante come motore di qualunque tipo, purché reversibile:

“ ... la quantità di calore Q_1 , trasferita da K_1 a K_2 , ha sempre la stessa relazione con Q , la quantità di calore trasformata in lavoro.”

Questa affermazione ci fa comprendere che questa è la TESI che egli vorrebbe dimostrare.

In una dimostrazione per assurdo, l'opposto della tesi deve coincidere con l'Ipotesi, e pertanto la seguente proposizione:

*“In un singolo ciclo motore reversibile, la quantità di calore Q_1 , trasferita da K_1 a K_2 , **non** ha sempre la stessa relazione con Q , la quantità di calore trasformata in lavoro”*,

deve coincidere con l'Ipotesi di CLAUSIUS.

La dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS è basata sul suo Assioma:

“Il calore non può passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo”.

Per quanto riguarda le Condizioni imposte da CLAUSIUS, bisogna considerare anche quelle da lui non esplicitate ma sottintese.

Le condizioni esplicite sono le seguenti:

- 1) Le temperature dei corpi K , K_1 e K_2 **restano costanti** anche se essi scambiano calore;
- 2) I corpi K , K_1 e K_2 sono i soli che scambiano calore;

3) Le quantità di calore Q_1 e Q_2 che K_1 e K_2 scambiano con il gas sono identiche in valore assoluto.

Esiste, però, una condizione implicita o non dichiarata da CLAUSIUS.

Per enunciarla correttamente, consideriamo che Q è convenzionalmente considerato positivo nel ciclo diretto (motore) mentre è negativo nel ciclo invertito (frigorifero).

Per la combinazione dei due cicli, possiamo **definire la grandezza Delta-Q, come la somma algebrica dei valori di Q , ovvero della quantità di calore dapprima trasformata in lavoro dal ciclo diretto (funzionante come motore) e quella successivamente prodotta dal lavoro assorbito da ciclo invertito (funzionante come frigorifero).**

Se il valore assoluto di Q relativo al verso diretto è maggiore di quello nel verso invertito, allora Delta-Q è positivo; se è il contrario, Delta-Q è negativo ed è nullo solo se i due valori assoluti di Q sono uguali in valore assoluto.

Con tali premesse, l'ultima condizione, che però CLAUSIUS non ha esplicitamente dichiarato, è la seguente:

4) Non esiste alcuna condizione per il valore Q , sia in modo diretto che in modo inverso, ovvero, secondo la nostra definizione, non esiste alcuna condizione per il nostro Delta-Q.

La condizione n. 4 è ovvia, in quanto è connessa alla Tesi che si vorrebbe dimostrare.

Se, infatti, intendiamo dimostrare che Q_1 è sempre nella stessa relazione con Q , dobbiamo ammettere che inizialmente non sappiamo nulla della relazione tra Q_1 e Q , e che se una tale relazione esiste, lo scopriremo al termine della dimostrazione.

Come per le prime tre condizioni, anche la condizione n. 4, al pari delle altre tre, deve valere per entrambi i versi di percorrenza (diretto e invertito).

Se quindi è incognita la relazione tra Q_1 e Q sia nel verso diretto che nel verso invertito, anche il valore assoluto di Q nel verso diretto meno il valore assoluto di Q nel verso invertito (o ciò che è lo stesso: la somma algebrica chiamata Delta- Q) sarà del pari incognito rispetto al valore assoluto di Q_1 .

Pertanto, come già detto, Delta- Q potrebbe essere positivo, nullo o negativo. Sarà la dimostrazione a stabilire i valori per questi tre casi.

Ora è possibile utilizzare questi chiari concetti per verificare la correttezza della dimostrazione di CLAUSIUS del teorema di CLAUSIUS e di quello delle Trasformazioni Equivalenti, poiché, passo dopo passo, abbiamo trasformato il problema fisico in uno di logica-matematica da risolvere tramite la dimostrazione per assurdo.

In ogni caso, è indispensabile considerare le tre diverse configurazioni di cicli reversibili contrapposti di cui sopra: La banale configurazione con cicli identici sia per trasformazioni che per gas; la configurazione con cicli identici per trasformazioni ma non per gas; la configurazione con cicli completamente diversi, sia per le trasformazioni che per il gas impiegato.

Sia pure disapplicando i criteri della matematica-costruttiva, dobbiamo comunque dire che la dimostrazione per assurdo sarà consentita, per tutte e tre le configurazioni, solo se sarà possibile ridurre a due, o anche uno solo, i tre casi di cui sopra (Delta- $Q > 0$; Delta- $Q = 0$; Delta- $Q < 0$).

5.12 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI

Per quanto riguarda la prima configurazione ora in esame di cicli contrapposti e identici in tutto, è possibile ridurre il numero dei possibili casi da tre a uno solo. Una delle condizioni iniziali è che i due cicli siano reversibili, ma nel caso in esame dobbiamo aggiungere l'ulteriore condizione che il ciclo invertito è identico al ciclo motore, sia per le trasformazioni che per il gas impiegato, pertanto, per definizione di “reversibilità” e per l'ulteriore condizione di cui sopra, ΔQ sarà sempre nullo.

Di conseguenza, il numero dei casi è ridotto da tre a uno.

Il criterio di utilizzabilità del principio del terzo escluso, di non avere più di due casi, è quindi soddisfatto.

Logicamente, essendo presente un solo caso, potremmo evitare di portare a termine la dimostrazione e concludere che per tale configurazione sia vero che Q sta in rapporto costante con Q_1 , e anche che abbia senso parlare di Trasformazione Equivalente, anche se si stava trattando il caso, apparentemente banale, in cui una trasformazione reversibile è equivalente a sé stessa.

Tuttavia, vedremo che esiste un ulteriore motivo di invalidità del ragionamento adottato da CLAUSIUS per dimostrare il teorema, e che tale motivo potrebbe valere per le tre configurazioni.

Pertanto, terminiamo ugualmente la dimostrazione anche per questa configurazione banale.

Se dunque fosse valida l'ipotesi (il ciclo invertito può cedere al corpo caldo K più calore di quanto il ciclo diretto gli sottrae), allora vi sarebbe un accumulo di calore nel corpo K senza un equivalente in energia meccanica (ricordiamo che il lavoro complessivo sarebbe nullo).

Questa situazione sarebbe contraria all'assioma di CLAUSIUS.

Saremmo pertanto indotti a concludere che l'ipotesi è impossibile e che il teorema è dimostrato per la configurazione in esame.

Ma vedremo ben presto che l'impostazione che CLAUSIUS ha dato al teorema, ha creato un secondo motivo di invalidità della dimostrazione, per cui essa non consente neppure di trarre la banale conclusione che un ciclo reversibile sia equivalente a se stesso.

5.13 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI MA CON CORPO VARIABILE DIFFERENTE

Nel considerare la configurazione in cui entrambi i cicli sono identici, ma il corpo variabile è diverso, dobbiamo applicare il medesimo ragionamento logico di cui sopra.

Ora, tuttavia, la sola condizione di reversibilità non consente più di escludere il caso in cui $\Delta-Q > 0$ e neppure quello in cui $\Delta-Q < 0$.

Non esistendo altre condizioni che consentano di ridurre il numero dei casi possibili, nella configurazione in esame abbiamo i seguenti tre casi: ($\Delta-Q > 0$; $\Delta-Q = 0$; $\Delta-Q < 0$).

In conclusione, per la configurazione con cicli identici ma gas differente, le dimostrazioni per assurdo di CLAUSIUS del teorema di CARNOT e di quello delle Trasformazioni Equivalenti, non possono essere considerate valide, perché esse sono relative a tre possibili casi, e quindi il principio del terzo escluso non consente di trarre una conclusione definitiva e univoca.

5.14 CRITICA: ANALISI CONCETTUALE DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI DIFFERENTI SIA PER TRASFORMAZIONI CHE PER CORPO VARIABILE

Possiamo ripetere lo stesso discorso del paragrafo precedente per cicli completamente diversi.

Anche stavolta abbiamo tre possibili casi e quindi il principio del terzo escluso non può essere utilizzato.

Dunque la dimostrazione dei citati teoremi ideata da CLAUSIUS non può produrre soluzioni univoche.

5.15 CRITICA: PRIMO MOTIVO DI INVALIDITA' DEL TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

Poiché la terza configurazione di cui al precedente Paragrafo è proprio quella considerata da CLAUSIUS per il suo teorema di Equivalenza delle Trasformazioni, abbiamo trovato un primo motivo per dover considerare non valide sia la sua dimostrazione del teorema di CARNOT che quella del teorema di Equivalenza delle Trasformazioni.

A questo punto, posso ipotizzare che qualcuno di Voi, lettori del futuro, possa avanzare la seguente obiezione:

I tre casi ($\Delta Q > 0$; $\Delta Q = 0$; $\Delta Q < 0$) sono comparsi perché si è considerata la nuova grandezza ΔQ , mentre nel testo originario i possibili casi sono solo due.

In realtà, nel testo originario i tre casi sono già presenti, ma il modo in cui è il testo scritto tende ad occultarne uno, come si può notare dalle due proposizioni contenute nel seguente estratto (p. 89):

“Dato che se esistessero due di tali processi in cui, Q restando lo stesso, Q_1 fosse diverso, allora i due processi potrebbero essere eseguiti successivamente, quello in cui Q_1 fosse minore in modo diretto (ciclo motore - ndr), l'altro in maniera opposta (ciclo frigorifero - ndr).

Allora la quantità di calore Q , che tramite il primo processo è stato convertito in lavoro, potrebbe essere di nuovo trasformata in calore dal secondo processo e ripristinata al corpo K , e rispetto a tutto il resto ogni cosa ritornerebbe infine alla sua condizione originaria;

con la sola eccezione, tuttavia, che più calore sarebbe passato da K_2 a K_1 rispetto alla direzione opposta.”

Notiamo, nelle due proposizioni, che viene in considerazione soltanto il caso ...in cui Q_1 fosse **minore** in modo diretto, mentre viene ignorato il caso opposto ...in cui Q_1 fosse **maggiore** in modo diretto, che pure è possibile.

CLAUSIUS ha ridotto (arbitrariamente) i possibili casi al numero di due soltanto (Q_1 minore in modo diretto, e Q_1 uguale in entrambi i versi di percorrenza), ove in realtà essi sono tre, se si considera anche il caso in cui Q_1 è maggiore in modo diretto.

Questa erronea riduzione dei casi a due soltanto, rende apparentemente possibile l'utilizzazione del principio del terzo escluso nella dimostrazione dovuta a CLAUSIUS, e ciò conduce alla conclusione che la sua dimostrazione generale del teorema di CARNOT e di quella delle Trasformazioni Equivalenti non sono condivisibili.

In sostanza, possiamo considerare che fino al punto finora esaminato della memoria del 1854, la dimostrazione generale di CLAUSIUS del teorema di CARNOT e di quella delle Trasformazioni Equivalenti, sono teoricamente prive di difetti di logica solo per il caso banale in cui i cicli sono identici sia per le trasformazioni che per il gas.

Tuttavia, come si è anticipato in precedenza e come vedremo tra poco, queste due dimostrazioni non sono comunque accettabili per un altro paradossale motivo: mentre l'idea di partenza di CLAUSIUS è che il calore ha la caratteristica di fluire spontaneamente da corpi caldi a corpi freddi, egli non fa uso di tale caratteristica nella dimostrazione dei teoremi.

5.16 CRITICA: SECONDO MOTIVO DI INVALIDITA' DEL

TEOREMA DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

Come si è detto in precedenza, esiste un secondo motivo per ritenere non-condivisibili le dimostrazioni di CLAUSIUS in esame.

Per dimostrare il teorema di CARNOT e quello dell'Equivalenza delle Trasformazioni, CLAUSIUS adotta il medesimo schema usato da KELVIN delle due macchine contrapposte, con la differenza che la macchina reversibile, allorché funziona invertita (come frigorifero), assorbe tutto il lavoro prodotto dalla macchina irreversibile funzionante in modo diretto (come motore).

Secondo tale supposizione, il corpo K (ora diventato una “sorgente” calda) riceverebbe, complessivamente, calore in continuazione dal refrigeratore (ora diventato la “sorgente” fredda), in assenza di altri “cambiamenti” e ciò determinerebbe il contrasto con l’assioma.

Nel trarre tale conclusione, tuttavia, CLAUSIUS lascia incompleta la sua dimostrazione.

Infatti nessun impedimento di natura fisica impedisce che l'eccesso di calore di cui sopra possa essere fatto rifluire dalla sorgente calda a quella fredda, grazie al fenomeno della conduzione di calore, senza produrre altri “cambiamenti”..

Se, infatti, si inserisce un isolamento termico calibrato tra la sorgente calda e quella fredda, si può creare una situazione in cui la quantità di calore che in una certa unità di tempo tende ad accumularsi nella sorgente calda, viene invece di nuovo sottratta da essa, grazie al fenomeno naturale della conduzione di calore, e viene integralmente riconsegnata alla sorgente fredda senza produrre altri “cambiamenti”.

In tal caso, l'assioma di CLAUSIUS non è più violato e pertanto esso diventa inutile in quel tipo di dimostrazione.

Questo modo di completare la dimostrazione di CLAUSIUS è simile a quello da noi utilizzato in precedenza per la dimostrazione del teorema di CARNOT dovuta a KELVIN.

In tale occasione, avevamo definito “calore locale di compensazione” la precisa quantità di calore necessaria ad azzerare il bilancio di calore del refrigeratore, tramite l'introduzione di una resistenza termica tra sorgente e corpo freddo.

Possiamo continuare a definire come “calore locale di compensazione” anche quello necessario ad azzerare il bilancio di calore della sorgente.

Come si è detto, nulla ci impedisce di considerare l'introduzione del calore locale di compensazione sopra indicato, ma probabilmente CLAUSIUS non disponeva di tale libertà, dal momento che aveva deciso di seguire l'intuizione di CARNOT: ritenere che il fenomeno naturale della conduzione di calore tra corpi a diversa temperatura, rappresentasse una pura perdita di energia, non producendo variazione di volume e quindi nessun lavoro utile.

Mi piacerebbe credere che CLAUSIUS, avendo tale profonda convinzione, non fosse in grado di considerare questo fenomeno nella dimostrazione del teorema di CARNOT ed in quello dell'Equivalenza delle trasformazioni reversibili.

In conclusione, le due dimostrazioni di CLAUSIUS di cui sopra non sono condivisibili per ben due distinte questioni di pura logica; tali dimostrazioni non valgono per nessuno dei tre distinti caso sopra esaminati, **compreso quello relativo alle due macchine contrapposte con cicli e gas identici.**

5.17 IL VALORE-EQUIVALENTE DI UNA TRASFORMAZIONE REVERSIBILE SECONDO CLAUSIUS

Abbiamo finora esaminato la memoria di CLAUSIUS del 1854 fino a pagina 90, verificando che la sua dimostrazione del teorema di CARNOT e quella di Equivalenza delle Trasformazioni non sono valide per le due configurazioni di cicli reversibili considerate da CLAUSIUS con tre riserve di calore (i corpi K , K_1 e K_2).

Ora proseguiamo l'esame di questa memoria, iniziando dal punto in cui CLAUSIUS vuole dare concretezza al concetto di equivalenza delle trasformazioni reversibili, cercando il modo di quantificare il valore numerico di una trasformazione reversibile tramite la definizione di una equazione che determini ciò che egli chiama "Valore-Equivalente" di una certa trasformazione reversibile.

Infatti, a Pagina 90, secondo capoverso, CLAUSIUS argomenta come segue:

"Il valore matematico di una trasformazione così determinato può essere chiamato il suo Valore-Equivalente."

A fine pagina 90, CLAUSIUS porta l'esempio del sistema da lui già ampiamente descritto in precedenza, composto dal ciclo reversibile che lavora tra le temperature dei tre corpi (ora "sorgenti") K , K_1 e K_2 .

CLAUSIUS poi considera un processo simile, ma eseguito al contrario; poi ancora entrambi questi due cicli contrapposti come un unico ciclo.

Al termine delle sue considerazioni al riguardo, sviluppate da pagina 91 in poi, CLAUSIUS ritiene di poter fornire la nuova definizione del teorema che consentirebbe di quantificare il Valore-Equivalente (p. 92):

"... In base a ciò, il secondo teorema fondamentale nella teoria meccanica del calore, che in questa forma potrebbe essere appropriatamente chiamato il "teorema dell'equivalenza delle trasformazioni", può essere così enunciato: Se due trasformazioni

che, senza necessitare di nessun altro cambiamento permanente, possono mutuamente rimpiazzarsi l'un l'altra, essendo chiamate equivalenti, allora la generazione della quantità di calore Q alla temperatura di lavoro t , ha il valore-equivalente Q/T , e il passaggio della quantità di calore dalla temperatura t_1 alla temperatura t_2 , ha il valore $Q(1/T_2 - 1/T_1)$, in cui T è una funzione della temperatura, indipendente dalla natura del processo tramite il quale la trasformazione si verifica.”

Non ho riportato le argomentazioni della memoria da pagina 91 a pagina 92, che hanno permesso a CLAUSIUS di giungere alla definizione numerica sopra detta, perché sarebbe stata una inutile perdita di tempo.

Tutte le suddette argomentazioni, infatti, sono conseguenze (o corollari) della dimostrazione sia del teorema di CARNOT che quello di Equivalenza delle Trasformazioni.

Dal momento che le dimostrazioni che CLAUSIUS ha elaborato per dimostrare tali teoremi non sono valide, ne consegue l'inutilità di esaminare e commentare gli argomenti di CLAUSIUS per determinare il valore numerico di una entità (il Valore-Equivalente) che non è concettualmente definita.

Ciò che conta, in realtà, è che non sia valida la dimostrazione del teorema per la configurazione ideata da CLAUSIUS.

5.18 IL TENTATIVO DI CLAUSIUS DI AUMENTARE IL NUMERO DELLE SORGENTI

CLAUSIUS non si limita a considerare cicli complessi con una sola sorgente addizionale (il corpo K_1) rispetto al ciclo di CARNOT, ma ha la pretesa di estendere all'infinito il numero delle riserve intermedie di calore, perché ritiene che ciò consenta di dimostrare la

validità del teorema degli equivalenti per trasformazioni reversibili di qualunque forma e tipologia.

Per estendere la validità del teorema degli equivalenti ad un numero crescente di riserve di calore, CLAUSIUS abbandona il tipo di dimostrazione utilizzato per la configurazione a tre riserve di calore, e introduce una modalità di dimostrazione che ritiene più semplice.

Essa è basata sulla sua convinzione di aver dimostrato, nel caso di tre riserve di calore, l'esistenza dell'Equivalente, il quale è rappresentato dall'equazione di cui al paragrafo precedente: $Q(1/T_2 - 1/T_1)$ – equazione che esprimerebbe l'Equivalente numerico di una trasformazione reversibile che comporta il passaggio della quantità di calore Q tra T_2 e T_1 .

CLAUSIUS sfrutta questa sua convinzione per argomentare come segue (p. 93):

*“Assumiamo che diversi corpi K_1, K_2, K_3 , eccetera, che servono come **riserva** di calore alle temperature t_1, t_2, t_3 eccetera, abbiano ricevuto durante il processo le quantità di calore Q_1, Q_2, Q_3 eccetera, ove la perdita di una quantità di calore sia conteggiata come il guadagno di una quantità negativa; allora il valore totale N di tutte le trasformazioni sarà*

$$N = Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + Q_3/T_3 + \text{ecc.} = \Sigma Q/T \quad (10)$$

Si è assunto che le temperature dei corpi K_1, K_2, K_3 eccetera, siano costanti, o almeno così quasi costanti, che le loro variazioni possano essere trascurate. Quando uno dei corpi, tuttavia, vuoi per ricezione della quantità di calore Q stessa, o tramite qualche altra causa, cambi la sua temperatura durante il processo in modo così rilevante, che la variazione richieda considerazione, allora per ogni elemento di calore dQ dobbiamo considerare quella temperatura che il corpo possedeva al momento in cui lo riceveva, per cui ci sarà bisogno di una integrazione. In generale, assumiamo che questo sia

il caso per tutti i corpi; pertanto l'equazione precedente assumerà la forma

$$N = \int dQ/T \quad (11)$$

dove l'integrale si estende a tutte le quantità di calore ricevute dai diversi corpi.” (p. 93)

5.19 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO PER LA SOMMATORIA DEI “VALORI-EQUIVALENTI”

In un precedente paragrafo abbiamo verificato che la dimostrazione dovuta a CLAUSIUS, secondo la quale il Valore-Equivalente di una trasformazione in cui viene prodotta la quantità di calore Q alla temperatura T , sarebbe dato dal rapporto Q/T non è valida.

In termini più espliciti, possiamo dire che, fino a questo momento, il concetto di “Valore-Equivalente” delle trasformazioni reversibili non esiste.

Dato che tutto il ragionamento di CLAUSIUS, che abbiamo fedelmente riportato nel Paragrafo precedente, è basato proprio sulla esistenza di tale concetto, ne consegue che anche le sue equazioni precedenti, individuate con i numeri (10) e (11), sono prive di significato.

5.20 L'ESPRESSIONE ANALITICA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA SECONDO CLAUSIUS

CLAUSIUS, essendo ignaro dell'assenza di significato di tutti i suoi ragionamenti, prosegue nel suo tentativo di generalizzazione.

Continuiamo a riportare i contenuti della memoria di CLAUSIUS, riprendendo dal precedente punto di interruzione (fine p. 93), ove CLAUSIUS scrive:

“Se il processo è reversibile, allora, per quanto complicato esso possa essere, si può dimostrare, come nel semplice processo prima considerato, che la trasformazioni che si verificano devono cancellarsi esattamente l'un l'altra, cosicché la loro somma algebrica è zero. Se questo non fosse il caso, allora potremmo concepire tutte le trasformazioni divise in due parti, di cui la prima ha la somma algebrica zero, e la seconda consiste interamente di trasformazioni aventi lo stesso segno. Tramite un numero finito o infinito di semplici processi circolari, le trasformazioni della prima parte devono poter essere invertite, cosicché solo le trasformazioni della seconda parte resterebbero senza alcun altro cambiamento. Ove tali trasformazioni fossero negative, cioè da calore a lavoro, e trasmissione di calore da temperatura più bassa a più alta, allora delle due la prima potrebbe essere rimpiazzata da trasformazioni dell'ultimo tipo, e infine resterebbero soltanto trasmissioni di calore da temperature minori a maggiori, che non sarebbero compensate da nulla, e perciò in contrasto con il principio di cui sopra.

Ancora, ove tali trasmissioni fossero positive, sarebbe soltanto necessario eseguire le operazioni in ordine inverso per renderle negative, e quindi ottenere ancora il precedente caso impossibile. Pertanto concludiamo che la seconda parte delle trasformazioni non può esistere.

Di conseguenza l'equazione

$$\int dQ/T \quad (II)$$

è l'espressione analitica del secondo teorema fondamentale nella teoria meccanica del calore.”

L'equazione (II) di cui sopra è passata alla storia con il celebre nome di “Integrale di Clausius”.

5.21 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO

DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS

Incidentalmente, notiamo che CLAUSIUS ha nominato con numerazione latina l'equazione (II), che egli ritiene “*espressione analitica del secondo teorema fondamentale nella teoria dinamica del calore*”, per distinguerla dal primo teorema fondamentale, nominato, per l'appunto con numerazione latina (I) a pagina 83.

Se anche si convenisse che le dimostrazioni di CLAUSIUS dei suoi precedenti teoremi siano valide (Teorema di CARNOT e Teorema del Valore-Equivalente), vi sono altre ragioni per affermare che il sopra riportato ragionamento di CLAUSIUS non è comunque idoneo a dimostrare che l'equazione (II) rappresenti “*l'espressione analitica del secondo teorema fondamentale nella teoria dinamica del calore*”.

Per verificare ciò, iniziamo a notare che nel citato ragionamento, CLAUSIUS utilizza ancora una volta la dimostrazione per assurdo, ma la concentra su quel sotto-insieme di trasformazioni supposto ad Equivalente diverso da zero.

Egli divide tale dimostrazione in due parti.

PRIMA PARTE DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

La prima parte della dimostrazione è contenuta nella seguente proposizione:

“Ove tali trasformazioni (con equivalente non nullo - ndr) fossero negative, cioè da calore a lavoro, e trasmissione di calore da temperatura più bassa a più alta, allora delle due la prima potrebbe essere rimpiazzata da trasformazioni dell'ultimo tipo, e infine resterebbero soltanto trasmissioni di calore da temperature minori a maggiori, che non sarebbero compensate da nulla, e perciò in contrasto con il principio di cui sopra.”

Cerchiamo di chiarire meglio i termini formali di questa dimostrazione per assurdo.

CLAUSIUS vuole dimostrare che il valore-equivalente delle trasformazioni di un ciclo reversibile è uguale a zero.

Per farlo, egli divide le trasformazioni del ciclo in due gruppi: Il primo gruppo con equivalente nullo; il secondo gruppo con equivalente non-nullo.

Dato che per il primo gruppo non ci sono problemi, CLAUSIUS si concentra sul secondo gruppo a equivalente diverso da zero, vuoi negativo oppure positivo.

Per questo secondo gruppo, CLAUSIUS presenta due distinte dimostrazioni per assurdo ovvero, divide la dimostrazione per assurdo in due parti.

La prima parte inizia con l'ipotesi che il secondo gruppo delle trasformazioni abbia equivalente complessivo non nullo (diverso da zero).

Ora, però, c'è una difficoltà: Le ipotetiche trasformazioni con equivalente negativo sarebbero irreversibili.

Per trarre comunque la conclusione desiderata, CLAUSIUS utilizza il concetto che egli ritiene di aver precedentemente dimostrato: L'equivalenza delle trasformazioni.

Secondo tale idea, se una trasformazione è negativa, perché da calore si produce lavoro, allora essa è equivalente ad una trasmissione da temperatura più bassa ad una più alta, che è anche negativa.

Applicando tale equivalenza a tutte le trasformazioni negative da calore a lavoro, dice CLAUSIUS, resterebbero solo trasmissioni di calore da temperature più basse a più alte, *“che non sarebbero compensate da nulla, e perciò in contrasto con il principio di cui sopra”*.

Ma come abbiamo avuto modo di osservare, è proprio questo il punto in cui CLAUSIUS lascia (inconsapevolmente) incompleto il suo ragionamento.

È vero!, fino a quel punto del suo ragionamento, la trasmissione da temperature più basse a più alte non sarebbe compensata da nulla, ma il ragionamento non è ancora terminato.

Ogni qual volta uno dei corpi K_x a temperatura superiore riceva una quantità calore da un altro K_y a temperatura inferiore, è possibile far tornare di nuovo al corpo K_y la stessa quantità di calore prelevandola dal corpo K_x , tramite la conduzione di calore tra questi corpi, senza produrre “altre conseguenze”.

In generale, nulla impedisce di far intervenire il calore locale di compensazione ogni volta che vi sia trasmissione di calore da temperature più basse a più alte.

Facendo in tal modo, l'assioma di CLAUSIUS non viene mai violato.

In conclusione, l'introduzione del calore locale di compensazione determina il completo ribaltamento della conclusione tratta da CLAUSIUS: Non è possibile provare che il valore-equivalente dell'insieme delle trasformazioni ad equivalente non nullo non possa essere negativo.

SECONDA PARTE DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS

Nella seconda parte della sua dimostrazione, CLAUSIUS suppone che il valore-equivalente delle predette trasformazioni sia positivo.

Ma poiché egli riconduce questo caso al precedente, ne consegue che anche la seconda parte della dimostrazione di CLAUSIUS è da ribaltare: Non è possibile ritenere che l'insieme delle suddette trasformazioni non possa avere valore-equivalente positivo.

Completando il ragionamento di CLAUSIUS, si scopre che l'equivalente di una trasformazione circolare reversibile può essere sia negativo che positivo, e quindi “eventualmente” anche nullo, per cui abbiamo trovato un secondo motivo per affermare che l'equazione (II), da CLAUSIUS definita “*espressione analitica del secondo teorema fondamentale nella teoria dinamica del calore*”, non è dimostrata.

Abbiamo raggiunto questa conclusione senza mettere in dubbio l'assioma di CLAUSIUS, il quale pertanto diventa irrilevante o inutile.

Fino a questo momento abbiamo trovato ben due motivi per concludere che CLAUSIUS non ha dimostrato che l'integrale circolare della funzione Q/T è sempre nullo se tutte le trasformazioni sono reversibili.

Per ricollegare questo paragrafo con il successivo, notiamo che CLAUSIUS, per calcolare le quantità di calore scambiate dal corpo variabile tenendo anche conto del cambiamento di temperatura dei corpi K , K_1 e K_2 etc., ha trasformato la sommatoria (equazione 10) in un integrale (equazione 11).

5.22 L'UGUAGLIANZA DELLE TEMPERATURE DELLE RISERVE DI CALORE E DELLE CORRISPONDENTI TEMPERATURE DEL FLUIDO VARIABILE

Continuando ad esaminare il contenuto di pagina 94 della memoria di CLAUSIUS, troviamo una ulteriore parte del suo ragionamento suscettibile di critica.

CLAUSIUS scrive, infatti:

“L'applicazione di questa equazione (l'equazione (II) ndr) può essere estesa considerevolmente dando alla grandezza t coinvolta in essa un significato alquanto diverso. Per tale scopo, consideriamo

*un processo circolare consistente in una serie di cambiamenti di condizione realizzati da un corpo che in ultima analisi ritorni al suo stato originario, e per semplicità, assumiamo che tutte le parti del corpo abbiano la medesima temperatura; allora affinché questo processo sia reversibile, il corpo variabile quando impartisce o riceve calore può solo essere posto in contatto con corpi tali da avere la sua stessa temperatura, dato che solo in questo caso il calore può transitare in direzione opposta. A rigore, questa condizione non può mai essere soddisfatta se si verifica trasferimento di calore; ma possiamo assumere che essa sia soddisfatta così da vicino, che **le piccole differenze di temperatura ancora esistenti possano essere trascurate nel calcolo.***

In questo caso non ha ovviamente importanza se t , nell'equazione (II), rappresenti la temperatura della riserva di calore allora impiegata, oppure la temperatura momentanea del corpo variabile, in quanto entrambe sono uguali. Una volta che quest'ultimo significato sia stato adottato, tuttavia, è facile vedere che qualunque altra temperatura può essere attribuita alle riserve di calore senza perciò produrre alcun cambiamento nell'espressione

$$\int dQ/T$$

*che debba pregiudicare la validità della precedente equazione (l'equazione (II) ndr). **Dato che con questo significato di t non è più necessario prendere in considerazione le numerose riserve di calore, è usuale riferire le quantità di calore, non ad esse, ma al corpo variabile stesso, specificando quali quantità di calore questo corpo successivamente riceve o cede durante le sue modificazioni.***

(omissis)

Da quanto è stato appena detto, ne consegue, pertanto, che quando per qualunque quantità di calore dQ che il corpo riceve o, se negativa, impartisce, durante le sue modificazioni la temperatura

del corpo al momento deve essere considerata nel calcolo, l'equazione (II) può essere applicata senza ulteriormente considerare da dove viene o dove va il calore, sempre che il processo sia reversibile.”

5.23 CRITICA: LA QUESTIONE DEGLI INFINITESIMI DIMENTICATI

Con il precedente ragionamento, CLAUSIUS crede di poter asserire che l'equazione (II) non si riferisca soltanto alle sorgenti di calore, ma anche del fluido variabile che, in contatto con esse, esegue un ciclo reversibile.

Questa identificazione, tuttavia, passa attraverso la semplificazione: *“...che le piccole differenze di temperatura ancora esistenti possano essere trascurate nel calcolo”*.

Ma tale semplificazione non è matematicamente corretta, in quanto coinvolge infinitesimi, dal momento che CLAUSIUS intende far crescere senza limite il numero delle riserve di calore.

CLAUSIUS sembra aver dimenticato che solo una pagina prima (p. 89), aveva giustamente dovuto trasformare la sommatori in un integrale proprio per tenere conto di piccole variazioni di temperatura delle riserve di calore.

Per questo motivo, la proposizione *“...senza perciò produrre alcun cambiamento nell'espressione*

$$\int dQ/T$$

che debba pregiudicare la validità della precedente equazione” non è formalmente corretta.

In altri termini, seppure CLAUSIUS avesse dimostrato che l'integrale di dQ/T riferito alle riserve di calore vale sempre zero per cicli reversibili, comunque il suo ragionamento che estende tale presunta proprietà al corpo variabile non sarebbe corretto.

5.24 CRITICA: IL MANCATO RICONOSCIMENTO DELL'ESISTENZA DI UNA NUOVA FUNZIONE DI STATO DEI CORPI MATERIALI

Se fosse vero che l'integrale di dQ/T , riferito alle temperature del corpo variabile, è sempre uguale a zero qualunque sia il ciclo reversibile, ciò comporterebbe l'esistenza di una funzione di stato del corpo variabile.

Nella sua seconda memoria, CLAUSIUS non nota che se i suoi (errati) ragionamenti fossero veri, avrebbero tale importante conseguenza; se ne accorgerà ben quattordici anni più tardi.

5.25 IL VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI CIRCOLARI IRREVERSIBILI

La memoria del 1854 di CLAUSIUS si conclude con la trattazione di quale modificazioni dovrebbe subire l'equazione (II) se il ciclo fosse irreversibile. A pagina 96 si trova scritto quanto segue:

“Procediamo ora a considerare processi non-reversibili. Nella dimostrazione del precedente teorema, che in ogni processo complesso reversibile la somma algebrica di tutte le trasformazioni deve essere zero, fu dapprima mostrato che la somma non poteva essere negativa, e poi che essa non poteva essere positiva, dato che allora sarebbe solo necessario invertire il processo per ottenere una somma negativa. La prima parte di questa dimostrazione (che la somma non può essere negativa – ndr) resta immutata anche quando il processo non è reversibile; la seconda parte (che la somma non può essere positiva – ndr), tuttavia, non può essere applicata in tal caso. Pertanto otteniamo il seguente teorema, che si applica generalmente a tutti i processi circolari, quelli che sono reversibili formando il limite: -

La somma algebrica di tutte le trasformazioni che si verificano in un processo circolare può essere solo positiva.”

5.26 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO PER IL “VALORE-EQUIVALENTE” DI TRASFORMAZIONI CIRCOLARI IRREVERSIBILI - PRIMO MOTIVO

CLAUSIUS afferma che la prima parte della dimostrazione (che la somma non può essere negativa) resta identica anche se la trasformazione è irreversibile.

Tuttavia, se ricordiamo le modalità utilizzate da CLAUSIUS per trarre tale conclusione per le trasformazioni reversibili, ci rendiamo conto che tale affermazione è inammissibile: La prima parte della dimostrazione non può restare inalterata se la trasformazione è irreversibile.

È stato TRUESDELL a sollevare questa obiezione:

“Neanche il breve commento sui processi irreversibili ha alcun senso, dato che un “processo” non è stato definito o illustrato tranne all'interno di una struttura che fornisce solo corpi suscettibili di subire processi reversibili. CLAUSIUS ci dice che può facilmente calcolare “il valore-equivalente della trasformazione non compensata” ma non ci fornisce alcuna illustrazione di cosa potremmo fare con tale quantità se la avessimo.

Perfino la definizione di “processo circolare” è vaga: “le serie di cambiamenti sono tali che tramite essi il corpo ritorna alla sua condizione originale”, ma cos'è questo? CLAUSIUS afferma subito che $\Delta E=0$ (variazione di energia interna E uguale a zero – ndr) in un processo circolare, ma in realtà per corpi suscettibili di processi irreversibili non c'è alcuna ragione di pensare che un ciclo con variabili come V (volume – ndr) e θ (temperatura – ndr) lascerà E invariato.” (“The Tragicomical History”, p. 333)

TRUESDALL ha ragione: se un ciclo irreversibile viene percorso in un certo verso, quando V e θ saranno tornati ai loro valori iniziali vi sarà una certa variazione di E , che potrà essere diversa se tale ciclo è percorso in senso contrario.

Ricordiamo, infatti, che nella prima parte della dimostrazione, CLAUSIUS ha scritto:

“Tramite un numero finito o infinito di semplici processi circolari, le trasformazioni della prima parte devono poter essere invertite, cosicché solo le trasformazioni della seconda parte resterebbero senza alcun altro cambiamento.”

Questa inversione delle trasformazioni serviva ad invertire il segno algebrico delle quantità di calore.

Ma, come si è detto, in generale, nell'inversione di una trasformazione irreversibile non vengono mantenuti i valori assoluti delle quantità di calore scambiate.

Ne consegue, appunto, che tale parte della dimostrazione relativa al ciclo reversibile non può restare inalterata se detto ciclo diventa irreversibile.

5.27 CRITICA: ASSENZA DI SIGNIFICATO PER IL “VALORE-EQUIVALENTE” DI TRASFORMAZIONI CIRCOLARI IRREVERSIBILI - SECONDO MOTIVO

Ora passiamo a commentare l'affermazione di CLAUSIUS circa l'inapplicabilità della seconda parte del suo ragionamento per le trasformazioni irreversibili; la seconda parte, lo ricordiamo, è la seguente (p. 94):

“... ove tali trasmissioni fossero positive, sarebbe soltanto necessario eseguire le operazioni in ordine inverso per renderle negative, e quindi ottenere ancora il precedente caso impossibile.”

CLAUSIUS, tuttavia, non fornisce alcuna motivazione per giustificare la inapplicabilità di tale seconda parte alle trasformazioni irreversibili.

In una successiva memoria, CLAUSIUS tenterà di dare un giustificazione per questa apodittica dichiarazione, ma vedremo che non sarà convincente.

CLAUSIUS ha trasformato il problema fisico in un ragionamento Logico e, come tra poco vedremo, è proprio di Logica l'altro errore che egli commette nella trattazione relativa ai cicli irreversibili.

Per i cicli reversibili, la conclusione che la somma debba valere zero è ottenuta, secondo CLAUSIUS, per Logica esclusione di due casi: essa non può essere negativa; non può essere positiva, dunque essa è necessariamente sempre uguale a zero.

Ora supponiamo che sia giustificata l'inapplicabilità della seconda parte.

Se, secondo CLAUSIUS, per i cicli irreversibili la seconda parte (non può essere positiva) non è applicabile, allora non si può condividere la sua idea che la somma, non potendo essere negativa, debba essere solo positiva, in quanto la Logica vuole che la somma debba essere positiva oppure uguale a zero.

CLAUSIUS ha creduto di aver dimostrato che per i cicli irreversibili la somma algebrica degli equivalenti è sempre positiva, ma la vera conclusione della sua dimostrazione è che la somma può essere anche nulla.

5.28 CONCLUSIONI CIRCA LA SECONDA MEMORIA DI CLAUSIUS

La memoria di CLAUSIUS del 1854 è rilevante e condivisibile per la trattazione del Primo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

Per quanto attiene alla trattazione del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica, c'è da osservare che in nessun punto della sua memoria CLAUSIUS fa riferimento ad un *experimentum crucis*.

È questo un punto fondamentale da tenere sempre presente: Mentre il Primo Principio della Termodinamica è basato sull'*experimentum crucis* di JOULE, il Secondo Principio non è basato su nessun esperimento del genere.

Per di più, le dimostrazioni di teoremi presentate da CLAUSIUS nella seconda memoria non sono condivisibili sotto nessun punto di vista, essendo affette da numerosi errori di Logica.

È opinione comune che tutte le dimostrazioni di CLAUSIUS sul Secondo Principio, dalla prima fino all'ultima, siano basate sulla verità del suo assioma.

CLAUSIUS, tuttavia, non utilizza il suo assioma per dimostrare teoremi attinenti a fenomeni naturali, bensì a cicli termodinamici, ovvero a particolari tipologie di macchine termiche, commettendo in tal modo un primo errore di impostazione.

Inoltre, gli ulteriori errori di logica introdotti da CLAUSIUS nei suoi ragionamenti, e la prematura interruzione (sia pure inconsapevole) delle dimostrazioni, rendono il suo assioma inutile ai fini degli scopi che egli si prefiggeva di raggiungere, e che in realtà non ha mai raggiunto.

Ne consegue che tutte le brillanti ed innovative idee di CLAUSIUS, come il concetto di Equivalenza per le trasformazioni reversibili; la sommatoria nulla di tale Equivalente per i cicli reversibili; la sommatoria positiva di tale Equivalente per i cicli irreversibili, non risultano affatto dimostrate nella sua seconda memoria.

Nondimeno, tutti i predetti concetti sono condivisi dall'odierna Comunità Scientifica e considerati di fondamentale importanza.

Notiamo inoltre che CLAUSIUS ha completamente abbandonato il pur timido tentativo di KELVIN di considerare macchine termiche non-cicliche, come quelle basate sui citati effetti (Peltier e Seebeck).

Pertanto, nonostante la pretesa di CLAUSIUS di creare una teoria del calore di valenza generale, di fatto, avendo egli considerato soltanto macchine termiche cicliche, la sua teoria (qualora mai fosse valida) resterebbe limitata soltanto alle macchine termiche cicliche.

Nell'Appendice A è riportato uno studio finalizzato a comprendere quali altre problematiche si incontrerebbero qualora si intraprendesse il tentativo di estendere i ragionamenti di CLAUSIUS alle macchine non-cicliche.

Ritengo che la seconda memoria di CLAUSIUS non avrebbe mai visto la luce se fosse stata sottoposta al tipo di Revisione Paritaria oggi in vigore.

5.29 ESERCIZIO PER I LETTORI

Reperire, almeno in parte, la bibliografia citata da Ray Spier (vedi nel seguito) nel suo articolo “*The History of the Peer-Review Process*”, Trends in Biotechnology, Vol. 20, n. 8, 2002, per verificare se gli Editori qualificati di lavori scientifici di quel tempo utilizzavano esattamente lo stesso procedimento di “Revisione Paritaria” oggi in vigore.

5.30 LA IX MEMORIADI CLAUSIUS

Nel 1865 viene pubblicata la IX memoria di CLAUSIUS intitolata:

“*Ueber verchiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der machanischen Wärtheorie*”, Annalen der Physik und Chemie 201.

Tale memoria è leggibile, gratuitamente, collegandosi al seguente link:

www.ngzh.ch/archiv/1865_10/10_1/10_3.pdf

La traduzione in Francese della IX memoria, a cura di H. F. Bessard, intitolata “*Sur diverses formes des équations fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur, qui sont commodes dans l'application*”, è stata pubblicata, sempre nel 1865, dal Journal de Mathématiques Pures et Appliquée. Tale pubblicazione è consultabile, gratuitamente, nel seguente link:

http://sites.mathdoc.fr/JMPA/PDF/JMPA_1865_2_10_A37_0.pdf

A R.B. Lindsay si deve la traduzione in Inglese, pubblicata con il titolo: “*On different forms of the fundamental equations of the mechanical theory of heat and their convenient for applications*”, pag. 162-193 del volume “The Second Law of Thermodynamics”, ed, J.Kestin, Stroudsburg (Pa.), Dowden, Hutchinson and Ross, 1976.

La versione in Inglese della IX memoria è anche reperibile al seguente indirizzo web:

<https://books.google.it/books?id=8LIEAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false>

ove si trova la raccolta delle memorie di CLAUSIUS da lui stesso curata dal titolo:

“*The Mechanical Theory of Heat, with its Applications to Steam-Engine and the Physical Properties of Bodies*”; Ed. T. Archer Hirst, F.R.S., 1867.

In tale volume si trova (pp. 327-365) la IX memoria dal titolo: “*On Several Convenient Forms of the Fundamental Equations of the Mechanical Theory of Heat*”.

È nella IX memoria che CLAUSIUS riconosce, finalmente, ciò che gli doveva essere evidente fin dal 1854, allorché egli ritenne di aver dimostrato che l'integrale della funzione Q/T vale zero per qualunque trasformazione circolare reversibile.

Se ciò fosse vero, allora la funzione Q/T , che CLAUSIUS aveva precedentemente chiamato S , sarebbe una funzione di stato del fluido variabile, visto che è a tale corpo che CLAUSIUS fa infine riferimento, avendo sostituito i valori delle temperature delle sorgenti di calore con quelle corrispondenti del fluido variabile, trascurando l'influenza degli "infinitesimi".

CLAUSIUS denomina tale funzione, che egli ritiene sia una funzione di stato, con il nome di "Entropia" (p. 357), derivandolo dalla parola greca τροπή (trasformazione) in modo che somigli alla parola Energia.

CLAUSIUS si dilunga nel portare esempi di applicazioni dei Teoremi Fondamentali, per trarre da tali esempi la proposizione che segue (p. 365) a conclusione della memoria del 1865:

“Per il momento mi limiterò a indicare il seguente risultato: se supponiamo che, tenendo conto di tutte le circostanze esista per l'intero universo la stessa grandezza che per un singolo corpo io ho chiamato “entropia”, e se allo stesso tempo consideriamo l'altra e più semplice idea di Energia, potremo esprimere molto semplicemente nella forma seguente le leggi fondamentali dell'universo che corrispondono ai due teoremi fondamentali della teoria del calore:

- 1) L'energia dell'universo è costante;*
- 2) L'Entropia dell'universo tende verso un massimo.”*

La proposizione 2) esprime il concetto del cosiddetto “Principio di aumento dell'entropia nell'universo”, molto popolare al giorno d'oggi.

Tutto ciò sarebbe molto bello ed esaltante, se non fosse che è completamente basato sulle roboanti ma pluri-errate dimostrazioni di CLAUSIUS.

Il venir meno della validità delle dimostrazioni di CLAUSIUS sul teorema di CARNOT, sull'Equivalenza delle trasformazioni reversibili, dell'integrale di CLAUSIUS e della disuguaglianza di CLAUSIUS, priva la sua proposizione 2) di qualunque significato.

Anche lo stesso CLAUSIUS deve aver nutrito dubbi sulle due ultime affermazioni, dal momento che nella raccolta delle sue opere, pubblicata nel 1879, non le ripropone.

5.31 IL DEFINITIVO FALLIMENTO DI CLAUSIUS NEL FORMULARE IL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

Come già detto, CLAUSIUS pubblica successive varianti delle sue memorie, per spiegare in modo più convincente (forse a lui stesso) i teoremi fondamentali che egli crede di avere in precedenza dimostrato e le loro implicazioni o corollari.

Dopo aver esaminato in dettaglio i contenuti della memoria del 1854 e aver dato un breve cenno alla pubblicazione del 1865, è preferibile analizzare l'ultima versione dei principali concetti che CLAUSIUS ha voluto esprimere sul Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

Possiamo trovare quest'ultima versione in lingua Inglese (traduzione di Waler R. Browne M.A.), pubblicata come raccolta completa delle sue memorie:

“*The Mechanical Theory of Heat*” Ed. McMillan &Co, London 1879.

Quest'opera è rintracciabile al seguente sito web:

<http://www.archive.org/details/cu31924101120883>

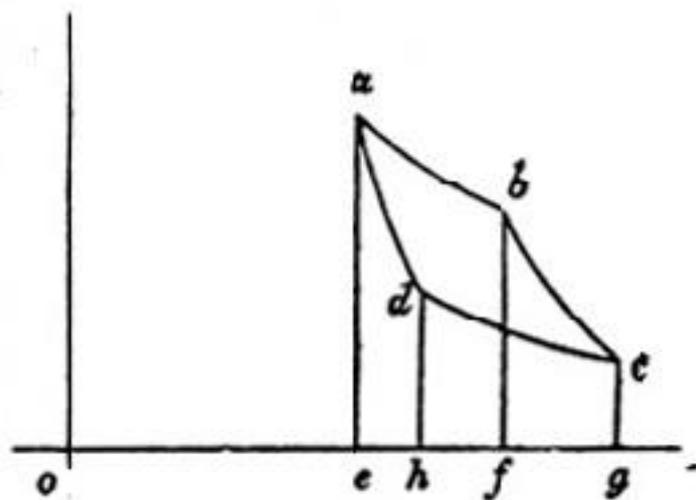
o si può scaricare in formato .pdf anche da:

<https://archive.org/stream/cu31924101120883#page/n5/mode/2up>

Analizziamo l'edizione in Inglese di McMillan &Co, iniziando dal Capitolo III (p. 69): “*Second Main Principle of the Mechanical Theory of Heat*”.

Da questo Capitolo in poi, CLAUSIUS comincia a considerare cicli di complessità sempre maggiore, al fine di giungere ad una formulazione generale del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica.

Nel Paragrafo n. 1 “*Description of a special form of Cyclical Process*”, CLAUSIUS descrive un semplice ciclo di CARNOT eseguito da un non precisato corpo variabile tra due sole temperature. Rappresenta graficamente questo ciclo con la sua Figura 8 che segue.



Poi il discorso di CLAUSIUS inizia a diventare confuso e fonte di incertezze.

La confusione inizia con il fatto che a pagina 71 è riportata la Figura 9 (identica alla Figura 8), che però non è mai richiamata nel testo.

Ma la confusione aumenta ancora laddove CLAUSIUS, riferendosi al corpo variabile impiegato nel ciclo, scrive la seguente prima proposizione (p. 70):

“*Ora in primo luogo consentiamo al corpo di espandersi, mentre mantiene la stessa temperatura T_1 . Se nessuna quantità di calore gli*

viene impartita, durante l'espansione, esso diventerà necessariamente più freddo: assumeremo pertanto che esso sia messo in contatto con un corpo K , agente come riserva di calore, il quale corpo ha la stessa temperatura T_1 , e non cambia apprezzabilmente da essa durante il processo ciclico.”

La confusione consiste nel fatto che il corpo K non è più nominato nel testo che segue, se non, inopinatamente, alla fine del Paragrafo n. 2 (fine pagina 72), dove si trova la seguente seconda proposizione:

“Quella quantità di calore Q , derivata dal corpo K , è trasformata in lavoro, e l'altra quantità Q_2 è passata dal corpo più caldo K_1 al corpo più freddo K_2 .”

Si dovrebbe concludere che CLAUSIUS, nella prima proposizione di cui sopra, intendesse scrivere K_1 in luogo di K .

K_1 sarebbe allora il corpo a temperatura stabile T_1 e K_2 il corpo a temperatura stabile T_2 .

Tuttavia questa interpretazione non può dissipare la confusione indotta nella mente del lettore.

Infatti, il ciclo di CARNOT di Figura 8 si svolge tra le temperature di due corpi soltanto (K_1 e K_2), mentre nella seconda proposizione di cui sopra sono menzionati tre corpi (K , K_1 e K_2).

È possibile ritenere che la forma corretta della seconda proposizione sia la seguente:

“Quella quantità di calore Q , derivata dal corpo K_1 , è trasformata in lavoro, e l'altra quantità Q_2 è passata dal corpo più caldo K_1 al corpo più freddo K_2 .”

La conferma che CLAUSIUS volesse intendere ciò la possiamo avere al termine del Paragrafo n. 2.

Infatti CLAUSIUS immagina di far avvenire il processo ciclico con lo stesso corpo variabile ma in senso inverso, per il quale egli esprime la terza seguente proposizione (p. 73):

“Quindi il risultato del processo ciclico (invertito – ndr) può essere qui descritto come segue: la quantità di calore Q è generata dal lavoro, è ceduta al corpo K_1 , e la quantità di calore Q_2 è transitata dal corpo più freddo K_2 al corpo più caldo K_1 .”

Proposizione che, essendo esattamente inversa rispetto alla seconda proposizione da noi corretta, dovrebbe confermare che la prima proposizione era errata e deve essere da noi sostituita con la seconda da noi corretta.

Questo episodio conferma ancora una volta la necessità di analizzare molto attentamente, e con spirito critico, le memorie di CLAUSIUS.

Dopo questa digressione, premettiamo quale sia l'obiettivo a medio-termine che CLAUSIUS intende raggiungere; lo troviamo al Paragrafo n. 6. (p. 79), dal titolo:

“Dimostrazione che la relazione tra la quantità di calore estratta, e quella convertita in lavoro, è indipendente dalla natura del corpo materiale che forma il mezzo del cambiamento”.

5.32 PROCESSO CICLICO REVERSIBILE CON UN CORPO PARZIALMENTE LIQUIDO E PARZIALMENTE VAPORE

Per raggiungere il risultato generale di cui sopra, CLAUSIUS andrà a considerare cicli sempre più complessi.

Inizialmente, però, nel Capitolo III, Paragrafo n. 3. (p. 73), CLAUSIUS considera un ciclo di CARNOT reversibile leggermente più complesso, eseguito da un corpo composto parzialmente di liquido e parzialmente di vapore tra due temperature.

Per fissare bene le idee, CLAUSIUS sta considerando un ciclo fatto eseguire reversibilmente da un corpo variabile tra due temperature,

che dapprima gira come motore e in un secondo momento funziona come frigorifero.

CLAUSIUS si pone la seguente “questione” (p. 76):

“Ora sorge la questione, Se la quantità di calore convertita in lavoro, o generata dal lavoro, stia in proporzione costante con la quantità che passa dal corpo più caldo al corpo più freddo, o viceversa; oppure se la proporzione esistente tra essi vari a seconda della natura del corpo variabile, che è il mezzo del trasferimento.”

Nel Paragrafo n. 4 (p. 76), CLAUSIUS espone una sintesi di come CARNOT affrontò questa questione nel contesto della vecchia teoria del Calorico, ed espone le ragioni che impongono la modifica della vecchia impostazione.

CLAUSIUS, infatti, si propone di risolvere tale “questione”, dimostrando che se le trasformazioni sono tutte reversibili, allora la quantità di calore Q convertita in lavoro sta in rapporto costante con la quantità di calore Q_2 rilasciata al refrigeratore, e che tale rapporto non dipende dalla natura del corpo variabile ma dipende solo dalle temperature di funzionamento.

Da ciò ne conseguirebbe che anche il rapporto tra Q_1 (l'intera quantità di calore ricevuta) e Q_2 (l'intera quantità trasferita) dovrebbe dipendere solo dalle temperature di funzionamento.

Nel Paragrafo n. 5, “*Nuovo Principio Fondamentale relativo al Calore*” (p. 78), CLAUSIUS inizia ad esporre come intende risolvere la “questione”, iniziando a ricordare che, in precedenza, egli stesso aveva ritenuto di esprimere in nuovo principio fondamentale con la seguente proposizione:

“Il calore non può, da solo, passare da un corpo più freddo ad uno più caldo.”

CLAUSIUS riferisce di aver ricevuto una quantità di critiche da parte dei colleghi (p. 79) circa questo suo nuovo “principio”, ed egli ora coglie l'occasione per “correggere il tiro”.

CLAUSIUS spiega, infatti, che usò l'espressione “da solo” per **brevità**, ma in realtà la comprensione piena del significato richiede ulteriori spiegazioni.

Troviamo queste sue spiegazioni a pagina 78, dove si legge:

“In primo luogo esse (le parole “da solo” – ndr) esprimono il fatto che il calore non può mai, tramite conduzione o radiazione, accumularsi da solo in un corpo più caldo a spese di uno più freddo. OMISSIS In secondo luogo il principio deve essere applicabile a processi che sono una combinazione di diversi passi, come ad esempio processi ciclici del tipo descritto in precedenza. È vero che tramite tali processi (come si è visto andando in senso inverso nel ciclo originale) il calore può essere trasferito da un corpo più freddo ad uno più caldo : il nostro principio tuttavia dichiara che simultaneamente con il passaggio di calore da un corpo freddo ad uno più caldo deve avere luogo vuoi un passaggio opposto di calore da un corpo più caldo ad uno più freddo, oppure qualche altro cambiamento o altro che abbia la speciale qualità di non essere reversibile, eccetto sotto la condizione che esso determini, vuoi direttamente o indirettamente, un tale passaggio opposto di calore. Questo simultaneo passaggio di calore nella direzione opposta, o questo speciale cambiamento che implichi un passaggio opposto di calore, deve quindi essere trattato come una “compensazione” per il passaggio di calore da un corpo più freddo ad uno più caldo; e se applichiamo questo concetto possiamo rimpiazzare le parole “da solo” con “senza compensazione”, e quindi enunciare il principio come segue: “Un passaggio di calore da un corpo più freddo ad uno più caldo non può avvenire senza compensazione.””

Conviene commentare immediatamente quei punti di questo importante passaggio, che ancora una volta risultano di difficile e ambigua interpretazione.

In primo luogo, CLAUSIUS non fornisce alcuna spiegazione circa la necessità che la quantità di “calore di compensazione” debba avere “la speciale qualità di non essere reversibile”.

In secondo luogo, nella proposizione: “... *eccetto sotto la condizione che esso determini, vuoi direttamente o indirettamente, un tale passaggio opposto di calore*”, non risulta chiaro ciò che debba fare eccezione e a che cosa.

Tuttavia, ai fini di quanto segue, ciò che realmente conta è che il significato che CLAUSIUS intende di “senza compensazione” sia identico a quello da noi usato: senza “calore locale di compensazione”.

CLAUSIUS non interrompe la trattazione per replicare alle critiche dei citati oppositori, ma la prosegue mantenendo fermo il suo assioma fondamentale “... *al momento ritenuto corretto dalla maggior parte dei fisici*”, proponendo di discuterne in un altro capitolo.

Questo in effetti avviene nel Cap. XIII, “*Discussion on the Mechanical Theory of Heat as Here Developed, and its Foundations*”, dove si trova ribadito il punto fondamentale di partenza di CLAUSIUS per lo sviluppo della sua teoria relativa al Secondo Principio della Termodinamica.

Con riferimento alle obiezioni avanzate da altri scienziati alla sua teoria (come Zeuner, Rankine, Hirn, Wand e Tait), CLAUSIUS fa notare che le critiche di questi oppositori si concentrano essenzialmente sul suo metodo per provare il secondo Principio fondamentale della teoria. CLAUSIUS così commenta tali critiche (p. 341):

“Questa prova si basa, come mostrato nel Capitolo III, sul seguente principio fondamentale: - Il calore non può da solo (ovvero senza compensazione) passare da un corpo freddo a uno più caldo. Questo principio fondamentale è stato accolto dal pubblico scientifico in modi molto differenti. Alcuni sembrano considerarlo talmente evidente da rendere inutile specificarlo come principio specifico, mentre altri al contrario dubitano della sua correttezza.”

CLAUSIUS dedica le successive pagine, da 341 a 362, a contrastare gli argomenti dei suoi detrattori, cercando di chiarire ancora una volta che per “*da solo*” si debba intendere “*senza compensazione*”.

5.33 NUOVA FORMA DEL TEOREMA DI CARNOT - ULTIMA OCCASIONE PER CLAUSIUS DI DIMOSTRARE L'INDIPENDENZA DELLA MASSIMA POSSIBILE EFFICIENZA DALLA NATURA DEL CORPO VARIABILE

Nel Capitolo III, Paragrafo n. 6 (p. 79), del quale andremo ad esaminare in dettaglio gli aspetti più critici, possiamo prendere atto dell'ultima occasione che CLAUSIUS ha avuto (ma che ha fallito) per dimostrare che, per un generico ciclo reversibile, esiste una relazione tra la quantità di calore trasferita e quella convertita in lavoro, con la proprietà di essere indipendente dalla natura del corpo variabile usato come mezzo.

CLAUSIUS precisa che sta per dimostrare che se corpi variabili diversi sono sottoposti al medesimo ciclo reversibile tra due determinate riserve di calore K_1 e K_2 , il rapporto tra la quantità di calore Q che viene trasformata in lavoro e la quantità di calore Q_2 che viene ceduta alla riserva più fredda, ha sempre il medesimo valore, ovvero non dipende dalla natura del corpo variabile.

In altre parole, l'espressione Q/Q_2 dovrebbe avere lo stesso valore numerico per tutti i corpi variabili costretti ad eseguire lo stesso ciclo reversibile tra due determinate temperature.

Come abbiamo visto in precedenza, ciò in pratica corrisponderebbe ad un nuovo modo di dimostrare il teorema di CARNOT nella teoria dinamica del calore.

Per dimostrare questa tesi, CLAUSIUS ancora una volta imposta un ragionamento basato sul principio del terzo escluso (una dimostrazione per assurdo), diviso in due fasi e congegnato come segue.

Egli immagina che uno stesso ciclo reversibile sia eseguito da due corpi variabili C e C' , e, a pagina 80 scrive:

“Vi siano, se possibile, due corpi C e C' (cioè il gas perfetto e la massa composta di liquido e vapore prima descritti) per i quali i valori di Q siano uguali, ma diversi quelli delle quantità trasferite di calore, e siano rispettivamente Q_2 e Q'_2 questi diversi valori: Q'_2 essendo il maggiore dei due.

Ora in primo luogo consentiamo che il corpo C sia sottoposto al processo ciclico, tale che la quantità di calore Q sia trasformata in lavoro, e la quantità Q_2 trasferita dal corpo K_2 al corpo K_1 . Poi consentiamo al corpo C' ad essere sottoposto al processo ciclico inverso, cosicché la quantità Q sia generata dal lavoro, e la quantità Q' trasferita da K_2 a K_1 .

Allora i due cambiamenti di cui sopra, da calore a lavoro, e da lavoro a calore, si cancelleranno a vicenda; dato che possiamo supporre che quando nel primo processo il calore Q è stato estratto dal corpo K_1 e trasformato in lavoro, questo stesso lavoro è speso nel secondo processo per produrre il calore Q , che è quindi riportato al corpo K_1 . Sotto ogni altro aspetto anche i corpi (C e C' – ndr) saranno ritornati, al termine delle due operazioni, alla loro condizione originaria, con una sola eccezione.

La quantità di calore Q'_2 , trasferita da K_2 a K_1 , è stata assunta come maggiore della quantità Q_2 trasferita da K_1 a K_2 . Quindi

queste due non si cancellano a vicenda, ma resta al termine una quantità di calore, rappresentata dalla differenza $Q'_2 - Q_2$, che è passata da K_2 a K_1 . Quindi un passaggio di calore si verificherà da un corpo più freddo ad uno più caldo senza alcun altro cambiamento di compensazione. Ma ciò contraddice il principio fondamentale. Pertanto l'assunzione che Q'_2 sia maggiore di Q_2 deve essere falsa.”

CLAUSIUS sta considerando un determinato tipo di ciclo che è eseguito sia con il corpo variabile C (il gas perfetto), sia con il corpo variabile C' (liquido e vapore).

In un primo momento, il ciclo è eseguito dal corpo variabile C (il gas perfetto) che consuma calore e produce lavoro.

Successivamente, il ciclo è eseguito dal corpo variabile C' (la massa composta da liquido e vapore) che utilizza il lavoro per produrre calore.

L'ipotesi che Q'_2 sia maggiore di Q_2 , determina, secondo CLAUSIUS, la contraddizione del suo assioma – ciò che gli consente di affermare che Q'_2 non può essere maggiore di Q_2 .

Subito dopo, CLAUSIUS imposta la seconda fase della dimostrazione, avanzando l'ipotesi opposta, ovvero che Q'_2 sia inferiore a Q_2 e a Pag. 80 scrive ancora:

“Di nuovo, se facciamo l'assunzione opposta, che Q'_2 sia minore di Q_2 , possiamo supporre che il corpo C' esegua il processo ciclico nella prima (direzione – ndr), e C nella direzione inversa. Arriviamo allora similmente al risultato che una quantità di calore $Q_2 - Q'_2$ è passata dal corpo più freddo K_2 al corpo più caldo K_1 , ciò che è di nuovo contrario al principio.

Poiché Q'_2 non può essere né maggiore né minore di Q_2 esso deve essere uguale a Q_2 ; ciò che doveva essere dimostrato.”

In questa seconda fase i due cicli vengono invertiti: Il corpo variabile C' esegue il ciclo che compie lavoro mentre il corpo C assorbe lavoro e produce calore.

A questo punto, CLAUSIUS ritiene di aver completato entrambe le fasi della dimostrazione per assurdo, ritenendo che se Q_2 non può essere inferiore e contemporaneamente neanche maggiore di Q'_2 , l'unica possibilità che resta è che Q'_2 sia uguale a Q_2 .

CLAUSIUS ritiene di poter affermare di aver dimostrato, in tal modo, che il rapporto Q/Q_2 è indipendente dalla natura del corpo variabile e pertanto deve dipendere soltanto dalle temperature delle riserve di calore.

Avendo la necessità di esprimere questo concetto in una forma più conveniente per gli ulteriori sviluppi, con un semplice artificio algebrico, CLAUSIUS deduce che se è vero che il rapporto Q/Q_2 ha la proprietà di essere indipendente dalla natura del corpo variabile, e può dipendere solo dalle temperature delle riserve di calore, allora la stessa proprietà la deve avere anche il rapporto Q_1/Q_2 .

In tal modo, CLAUSIUS ottiene l'equazione (2) (p. 81)

$$Q_1/Q_2 = f(T_1, T_2) \quad (2)$$

“In cui $f(T_1, T_2)$ è una qualche funzione delle temperature, che è indipendente dalla natura del corpo variabile”

Questa equazione è di importanza fondamentale per CLAUSIUS, dato che la sua forma è molto conveniente per i successivi sviluppi teorici della teoria dinamica del calore che egli intende sviluppare.

Qualora si dimostrasse che l'equazione (2) è vera, essa esprimerebbe il concetto che il rapporto Q_1/Q_2 è una funzione (ancora indeterminata) delle due temperature T_1 e T_2 .

È essenziale, per CLAUSIUS, determinare tale funzione per poter pienamente formulare la sua teoria dinamica del calore.

A questo punto, CLAUSIUS inizia la ricerca della funzione $f(T_1T_2)$, senza rendersi conto, tuttavia, che la sua dimostrazione del teorema di CARNOT non è ancora terminata, e che pertanto l'equazione fondamentale (2) non è stata ancora dimostrata.

5.34 CRITICA: LA BIZZARRA LOGICA DI CLAUSIUS NELLA SUA DIMOSTRAZIONE DELLA NUOVA FORMA DEL TEOREMA DI CARNOT

Prima di chiederci se il principio del terzo escluso sia veramente utilizzabile nella citata dimostrazione della nuova versione di CLAUSIUS del teorema di CARNOT, è opportuno esaminare la Logica del suo ragionamento.

Ora osserviamo che CLAUSIUS, nelle due sessioni della dimostrazione, inverte sia il verso di rotazione dei cicli, sia una delle ipotesi del teorema.

Infatti l'ipotesi della prima sessione " Q'_2 essendo il maggiore dei due" ($Q'_2 > Q_2$ - ndr), si è trasformata nella "... assunzione opposta, che Q'_2 sia minore di Q_2 " ($Q'_2 < Q_2$ - ndr) nella seconda sessione.

Questa doppia inversione (di rotazione e di ipotesi), ha la logica conseguenza che in entrambe le sessioni il calore passi dal corpo freddo al corpo caldo.

Tuttavia, nessun tipo di matematica prevede che, nel corso della dimostrazione di un teorema, si possano modificare le ipotesi.

Quindi esiste una motivazione di ordine Logico che rende questa dimostrazione del tutto inammissibile, a prescindere dalla verità dell'assioma.

5.35 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che le argomentazioni dell'autore sono errate, e che la dimostrazione di CLAUSIUS è corretta e condivisibile.

5.36 CRITICA: INCOMPLETEZZA DELLA DIMOSTRAZIONE DEL NUOVO TEOREMA DI CARNOT

Ammettiamo, per assurda ipotesi, che la nuova dimostrazione del teorema di CARNOT presentata da CLAUSIUS sia accettabile.

In ogni caso questa dimostrazione non potrebbe essere condivisa, a prescindere dalla verità dell'assioma, perché CLAUSIUS l'ha interrotta prima di aver tenuto conto dei comportamenti del sistema per tutte le possibili configurazioni che non sono contrarie alle condizioni imposte al sistema stesso.

Ora verificiamo la verità di tale asserzione.

CLAUSIUS immagina di aver concluso la dimostrazione nel momento in cui ritiene che il calore passerebbe da un corpo freddo ad uno caldo, senza alcuna “compensazione”.

In realtà, CLAUSIUS non ha considerato quel particolare tipo di “compensazione” da lui stesso indicato a Pagina 78:

“Il nostro principio tuttavia dichiara che simultaneamente con il passaggio di calore da un corpo freddo ad uno più caldo deve avere luogo vuoi un passaggio opposto di calore da un corpo più caldo ad uno più freddo, oppure qualche altro cambiamento o altro che abbia la speciale qualità di non essere reversibile.”

Quando CLAUSIUS considera la combinazione dei due cicli contrapposti, non impone alcuna condizione circa l'isolamento termico tra il corpo K_1 e il corpo K_2 .

Pertanto, egli poteva (anzi doveva) completare la dimostrazione argomentando che, grazie al fenomeno naturale della conduzione di calore, è possibile far transitare direttamente, tra la riserva K_1 e la riserva K_2 , una quantità di calore esattamente uguale alla differenza tra i valori assoluti di Q'_2 e Q_2 : La quantità di calore che, secondo l'ipotesi, la combinazione dei due cicli contrapposti farebbe passare dal corpo più freddo K_2 al corpo più caldo K_1 .

Tale passaggio spontaneo di calore andrebbe ad annullare l'eccesso di calore che la combinazione delle due macchine accumulerebbe sul corpo K_1 , e non ci sarebbe più violazione dell'assioma durante il funzionamento del sistema.

Si è detto che CLAUSIUS riteneva che il calore di “compensazione” dovesse avere “*la speciale qualità di non essere reversibile*” (p. 78).

CLAUSIUS, infatti, considerava il fenomeno della conduzione di calore come una trasformazione irreversibile, e quindi per lui tale fenomeno doveva essere perfetto per la “compensazione”.

È probabile, tuttavia, che CLAUSIUS non fosse in grado di immaginare questo tipo di “compensazione”, e fosse in buona fede nella convinzione che una qualunque forma di “compensazione” non potesse che provenire da qualche altro sistema esterno a quello in considerazione, e mai provenire dall'interno del medesimo.

In altre parole, probabilmente, CLAUSIUS attribuiva al termine “compensazione” un significato assai più restrittivo rispetto alla generalità che letteralmente esprime tale termine, e quindi, secondo tale visione, il calore di compensazione, pur dovendo avere la “*speciale proprietà di non essere reversibile*”, doveva provenire dall'esterno del sistema, mai dal suo interno.

Immagino già ciò che qualcuno di Voi, lettori del futuro, obietterà: Questo passaggio diretto di calore non si può introdurre perché è irreversibile (motivo per cui rappresenterebbe solo un inutile spreco di energia), mentre CLAUSIUS sta considerando un ciclo reversibile.

Rispondo a questa obiezione come segue.

- 1) CLAUSIUS, come KELVIN prima di lui, potrebbe aver ritenuto che la verità del suo assioma rende irreversibile il fenomeno della conduzione. Tuttavia, nell'ambito di un medesimo ragionamento, non si può dapprima escludere la conduzione

diretta di calore tra le due riserve di calore perché essa è irreversibile in base ad un assioma, e successivamente utilizzare lo stesso assioma per concludere la dimostrazione. Ciò non sarebbe Logico ed equivarrebbe ad utilizzare un assioma due volte di seguito. Infatti, il fenomeno della conduzione di calore può essere dichiarato *reversibile*, secondo il criterio di CLAUSIUS, se si ammette che il suo assioma non sia vero.

- 2) La conduzione di calore che avvenisse direttamente tra le due riserve di calore, non appartenerebbe a nessuna delle due macchine; non altererebbe in alcun modo il loro funzionamento e non cambierebbe in nulla il ragionamento di CLAUSIUS.
- 3) CLAUSIUS ha semplicemente ignorato la conduzione diretta di calore tra le due riserve di calore, senza dare alcuna ragione per tale omissione. Pertanto, mentre non siamo autorizzati ad inventare ragioni al posto suo per giustificare l'omissione, ben possiamo criticare ed anzi colmare la sua omissione.
- 4) Se CLAUSIUS avesse considerato la conduzione diretta di calore tra le due riserve di calore, come sopra indicato, avrebbe dovuto ammettere che la sua dimostrazione del teorema di CARNOT era sbagliata. Il più importante lavoro di tutta la sua vita sarebbe andato perduto; annullata anche la sua credibilità all'interno di The Berlin School of Thermodynamics di cui era co-fondatore. Fatta salva la buona fede di CLAUSIUS, è logico ritenere che in ogni caso egli avrebbe fatto tutto ciò che era in suo potere per evitare un tale disastro professionale.

Spettava ad altri, non certo a CLAUSIUS, mettere in evidenza i suoi errori ed omissioni.

Possiamo concludere questo paragrafo affermando che la dimostrazione della nuova forma del teorema di CARNOT fornita da CLAUSIUS non è condivisibile.

Fino a questo momento, il teorema di CARNOT, ovvero l'idea che la combinazione di due cicli contrapposti reversibili non sia in grado di accumulare costantemente calore su un corpo caldo, senza altre “conseguenze”, pur essendo credibile, non è dimostrata.

Di conseguenza, non è dimostrato neppure il corollario che la funzione $f(T_1, T_2)$, costituita dal rapporto Q_1/Q_2 , sia uguale per tutti i processi ciclici reversibili e dipenda solo dalle temperature di funzionamento.

Dato che l'equazione (2) si ottiene dal rapporto Q_1/Q_2 con un artificio algebrico, possiamo anche inferire che non c'è finora la dimostrazione che il rapporto Q_1/Q_2 possa essere espresso da una funzione $f(T_1, T_2)$ indipendente dalla natura del corpo variabile.

5.37 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che nella dimostrazione fornita da CLAUSIUS del teorema di CARNOT, non è possibile introdurre la “compensazione” diretta di calore tra le due sorgenti.

5.38 LE CONSEGUENZE CHE CLAUSIUS DEDUCE DAL SUO NUOVO TEOREMA DI CARNOT

CLAUSIUS ha ora la necessità di dare una forma algebrica più conveniente ai risultati che crede di aver raggiunto.

Abbiamo visto che egli è convinto di aver dimostrato due essenziali proprietà del rapporto Q_1/Q_2 .

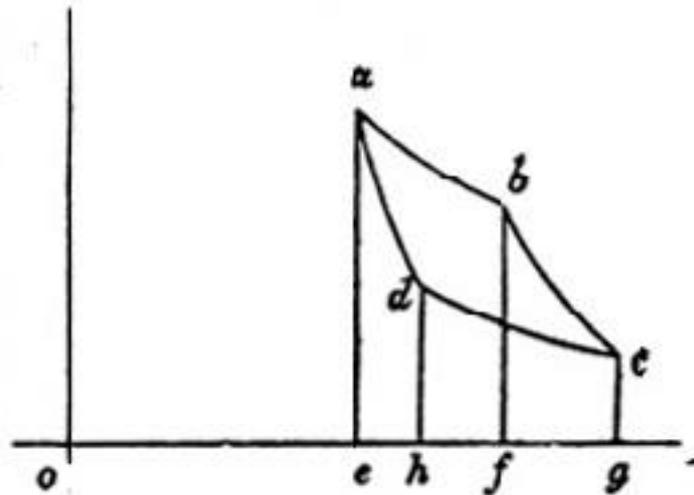
La prima, è che detto rapporto deve essere una funzione (f) delle due temperature T_1 e T_2 .

La seconda proprietà è che detto rapporto non dipende dalla natura del corpo variabile.

Per il suo scopo, CLAUSIUS sfrutta quest'ultima (non dimostrata) proprietà del rapporto di cui sopra.

La sua idea è la seguente: Se la funzione costituita da detto rapporto è indipendente dal corpo variabile che esegue il ciclo reversibile, allora, una volta determinata tale funzione per un corpo particolare, essa sarà valida per qualunque altro corpo che esegue lo stesso ciclo reversibile.

CLAUSIUS decide di determinare la funzione f per un sistema particolare: Il ciclo di CARNOT con il gas perfetto, rappresentato nella sua Figura n.11 (p. 81) che segue.



Nel Capitolo III, Paragrafo n. 7 (p. 81-83), CLAUSIUS sviluppa la suddetta idea, e ritiene che l'equazione (2) di cui sopra possa essere rimpiazzata dalla seguente equazione.

$$Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0 \quad (10)$$

Dove Q_1 e Q_2 sono i valori assoluti delle quantità di calore.

A questo punto, CLAUSIUS fa intervenire la convenzione di considerare negativa una quantità di calore ceduta.

Dato che nel ciclo di CARNOT la quantità di calore Q_2 è ceduta, ne consegue che, con tale convenzione l'equazione (10) diventa

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0 \quad (11)$$

Secondo CLAUSIUS, l'equazione (11) ha la proprietà di valere per qualunque ciclo termodinamico reversibile, ed avere una forma

algebraica molto conveniente per sistemi termodinamici più complessi.

5.39 CRITICA: L'ILLOGICITA' DERIVATA DEI SUCCESSIVI RAGIONAMENTI DI CLAUSIUS

Il ragionamento che porta CLAUSIUS a scrivere l'equazione (11) è basato sulla supposizione che sia valida l'equazione (2), ovvero che il rapporto Q_1/Q_2 sia espresso da una funzione $f(T_1, T_2)$ indipendente dalla natura del corpo variabile. Tuttavia, come si è visto in precedenza, le dimostrazioni di CLAUSIUS al riguardo non sono condivisibili.

Ne consegue che il ragionamento di CLAUSIUS, che parte dall'equazione (2) e giunge all'equazione (11), è affetto da illogicità derivata ed è completamente privo di significato, salvo che qualcuno riesca a risolvere il seguente esercizio.

5.40 ESERCIZIO PER I LETTORI

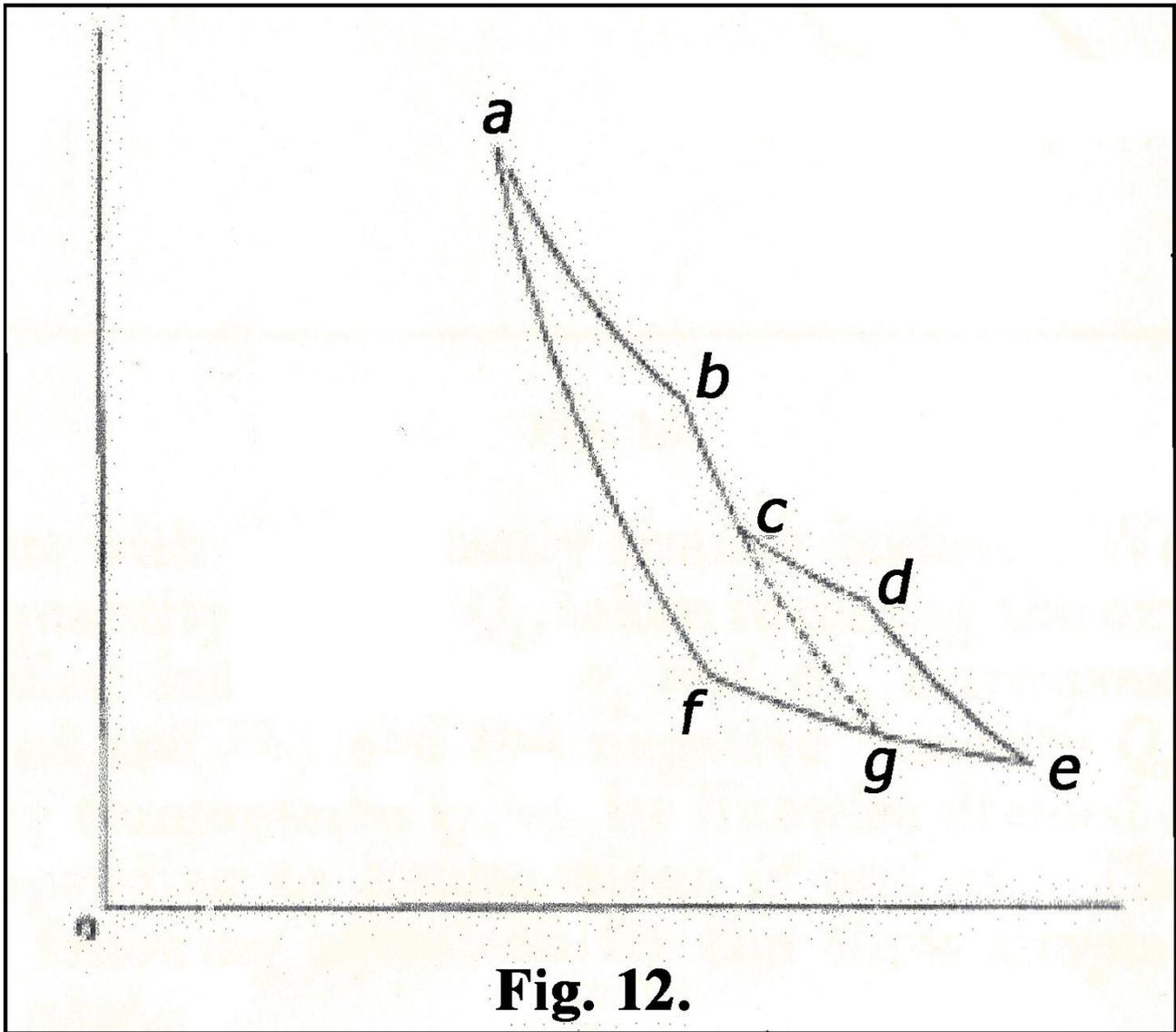
Trovate Voi, lettori del futuro, una dimostrazione dell'equazione (11) che sia indipendente dal ragionamento che ha portato CLAUSIUS a scrivere l'equazione (2).

5.41 PROCESSI CICLICI REVERSIBILI PIU' COMPLESSI

Nei successivi Paragrafi 8 del Capitolo III (p. 84-90), CLAUSIUS, forte di ciò che crede di aver dimostrato, si lancia alla dimostrazione di teoremi sempre più generali riguardanti processi reversibili con più di due riserve di calore e più complessi del ciclo di CARNOT.

In un primo momento, CLAUSIUS si limita a considerare un processo reversibile con tre riserve di calore alle temperature T_1 , T_2 e T_3 .

Tale sistema è composto, in realtà, da due cicli di CARNOT affiancati, come si vede dalla sua Figura n.12 (p. 84) che segue.



Il primo ciclo di CARNOT ha i vertici nei punti *abgf* mentre il secondo ha i vertici nei punti *cdeg*.

Entrambi i cicli sono percorsi in senso orario. Come è mostrato nella Figura n. 12 di CLAUSIUS, il segmento di adiabatrica *cg* viene percorso in una direzione dal primo ciclo e in direzione opposta dal secondo.

In definitiva, il ciclo complesso che risulta da tale combinazione ha i vertici nei punti *abcdef*.

Per analogia con il sistema precedente, CLAUSIUS chiama con Q_1 la quantità di calore che il corpo variabile scambia con la riserva a temperatura T_1 ; analogamente per Q_2 e Q_3 .

Il problema è che CLAUSIUS, forte della convinzione di aver dimostrato le equazioni (2) e (11), le usa come una scorciatoia per dimostrare che deve essere vera l'equazione (12) seguente:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + Q_3/T_3 = 0 \quad (12)$$

Successivamente, CLAUSIUS aumenta a tre il numero dei cicli di CARNOT affiancati e a quattro il numero delle riserve di calore (vedi la sua Figura n.13, p. 86) che segue.

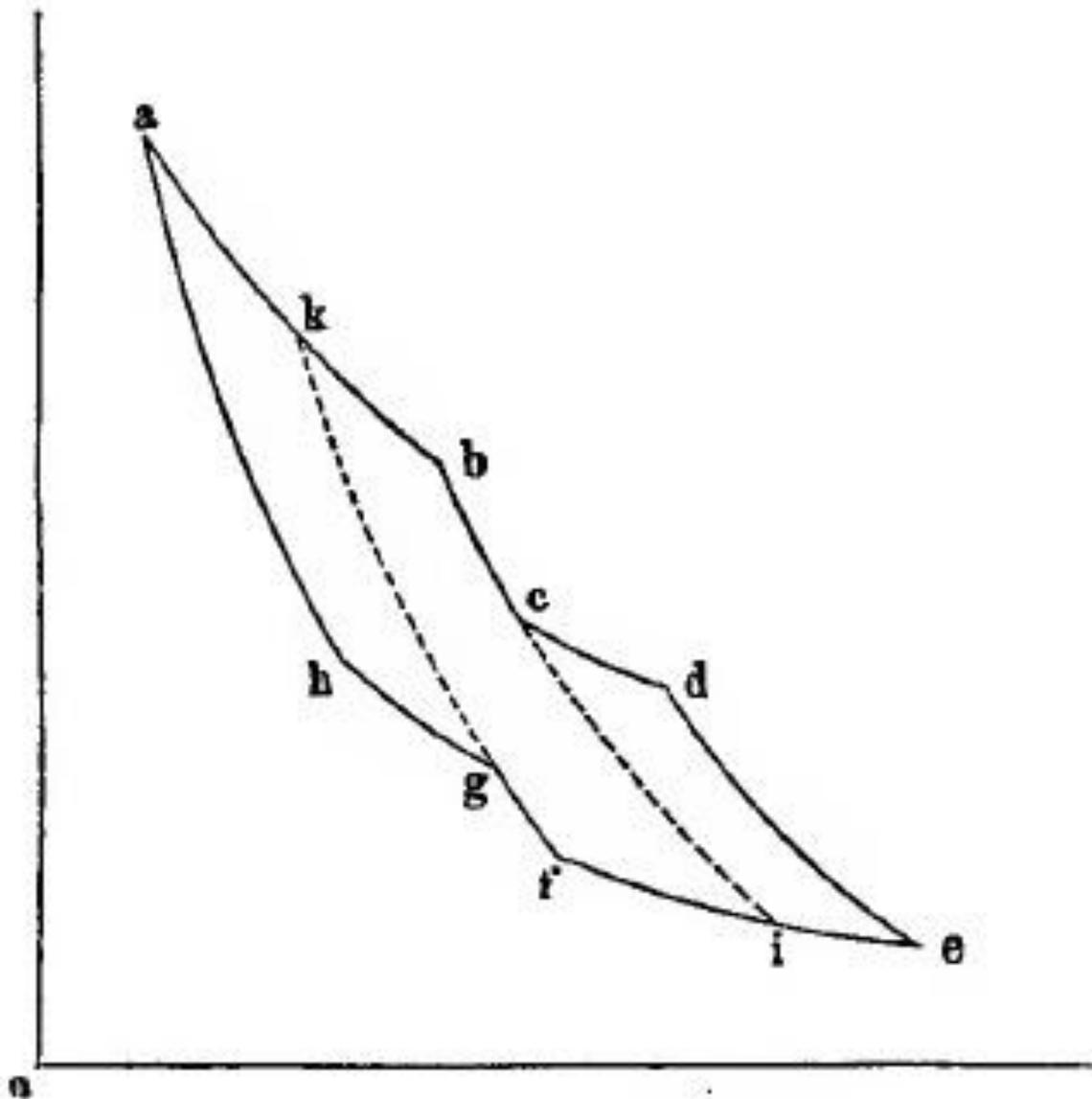


Fig. 13.

Come nel caso precedente, i due segmenti di adiabatica *kg* e *ci* non entrano in considerazione nel calcolo, e di conseguenza il ciclo

complesso che viene preso in considerazione ha i vertici nei punti *abcdefgh*.

Sempre sulla base delle precedenti equazioni (2) e (11), CLAUSIUS ritiene che debba valere l'equazione seguente:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + Q_3/T_3 + Q_4/T_4 = 0 \quad (13)$$

Come si vede, la convinzione di CLAUSIUS di aver dimostrato l'equazione (11), lo porta a ritenere di aver trovato un **facile metodo ripetitivo** (una scorciatoia, per l'appunto) per aumentare il numero di cicli di CARNOT affiancati e il numero delle riserve di calore.

L'applicazione di questo “metodo” consente a CLAUSIUS di affermare che per un qualsiasi numero di cicli di CARNOT affiancati vale, in generale, l'equazione (14) seguente:

$$\Sigma Q/T = 0 \quad (14)$$

La parte a sinistra dell'equazione (14), caratterizzata dal simbolo greco Sigma (Σ), è nota come “Sommatore di CLAUSIUS” per il ciclo complesso con un numero finito di sorgenti di calore.

5.42 PROCESSI CICLICI REVERSIBILI DI FORMA QUALSIASI

Nel Capitolo III, Paragrafo n. 9 (p. 87), CLAUSIUS tenta di estendere la validità dell'equazione (14) a cicli reversibili di qualunque forma e con un numero indeterminato di riserve di calore.

Preliminarmente, con l'ausilio della sua Figura n.14 (p. 87),

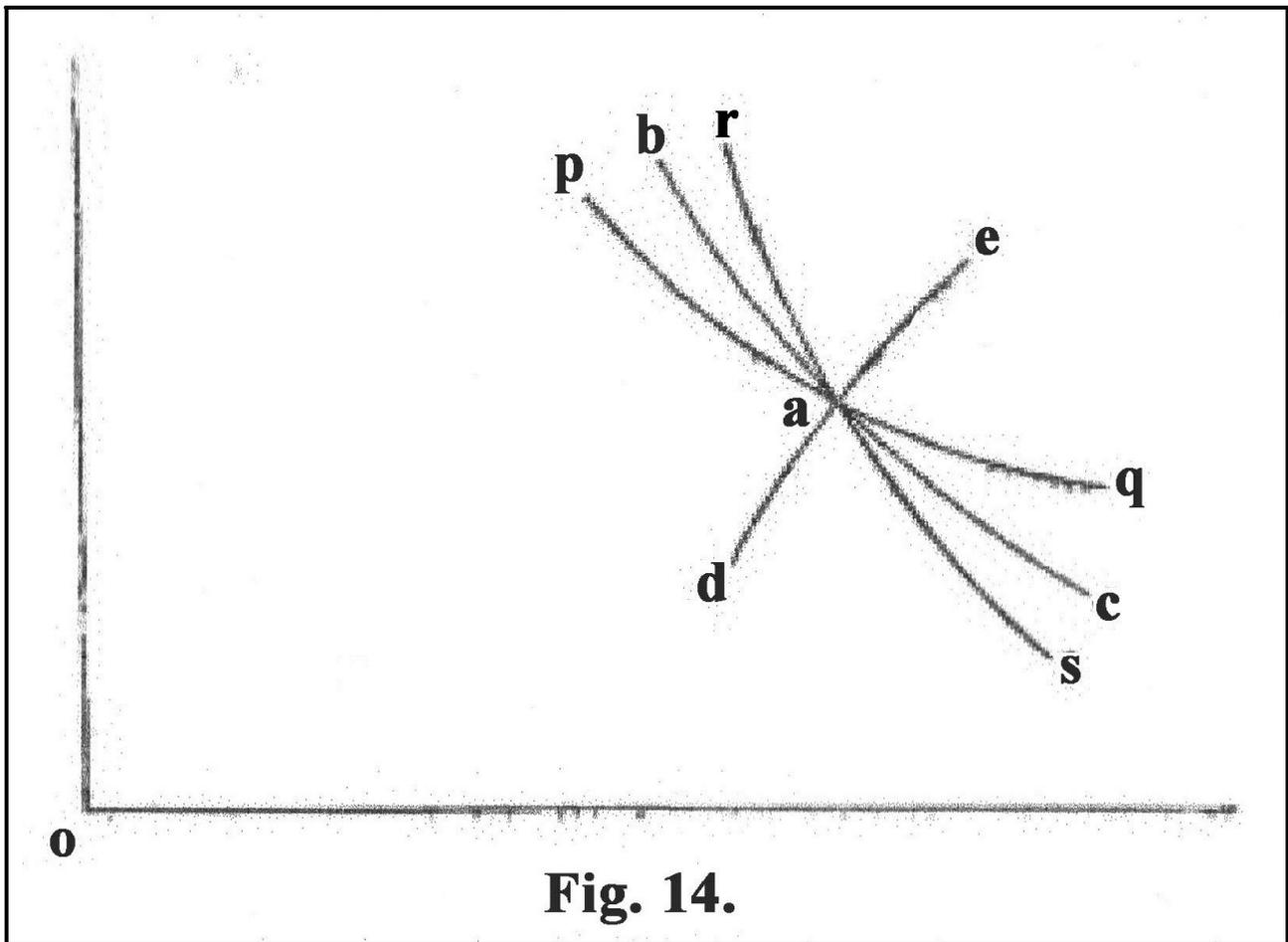
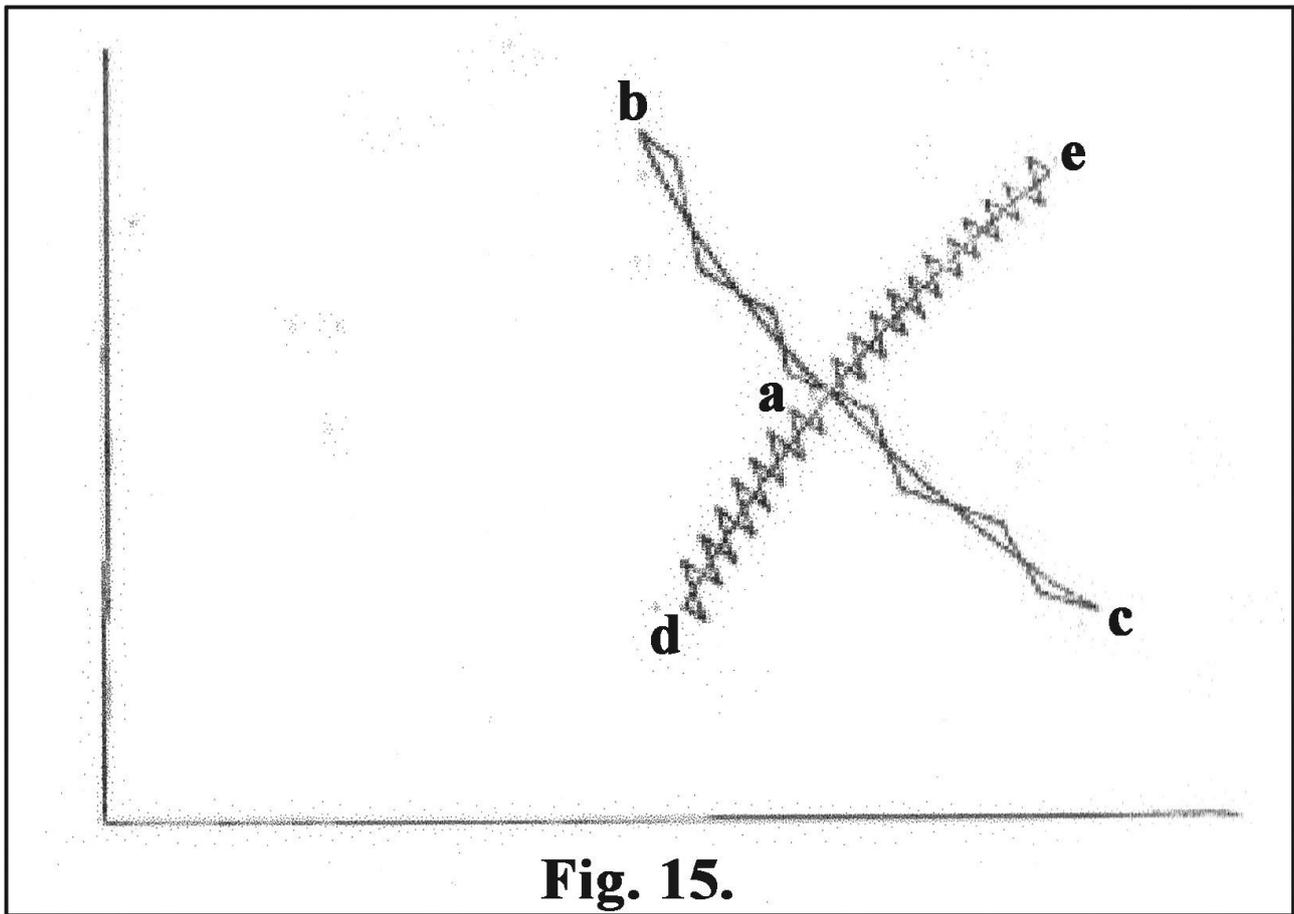


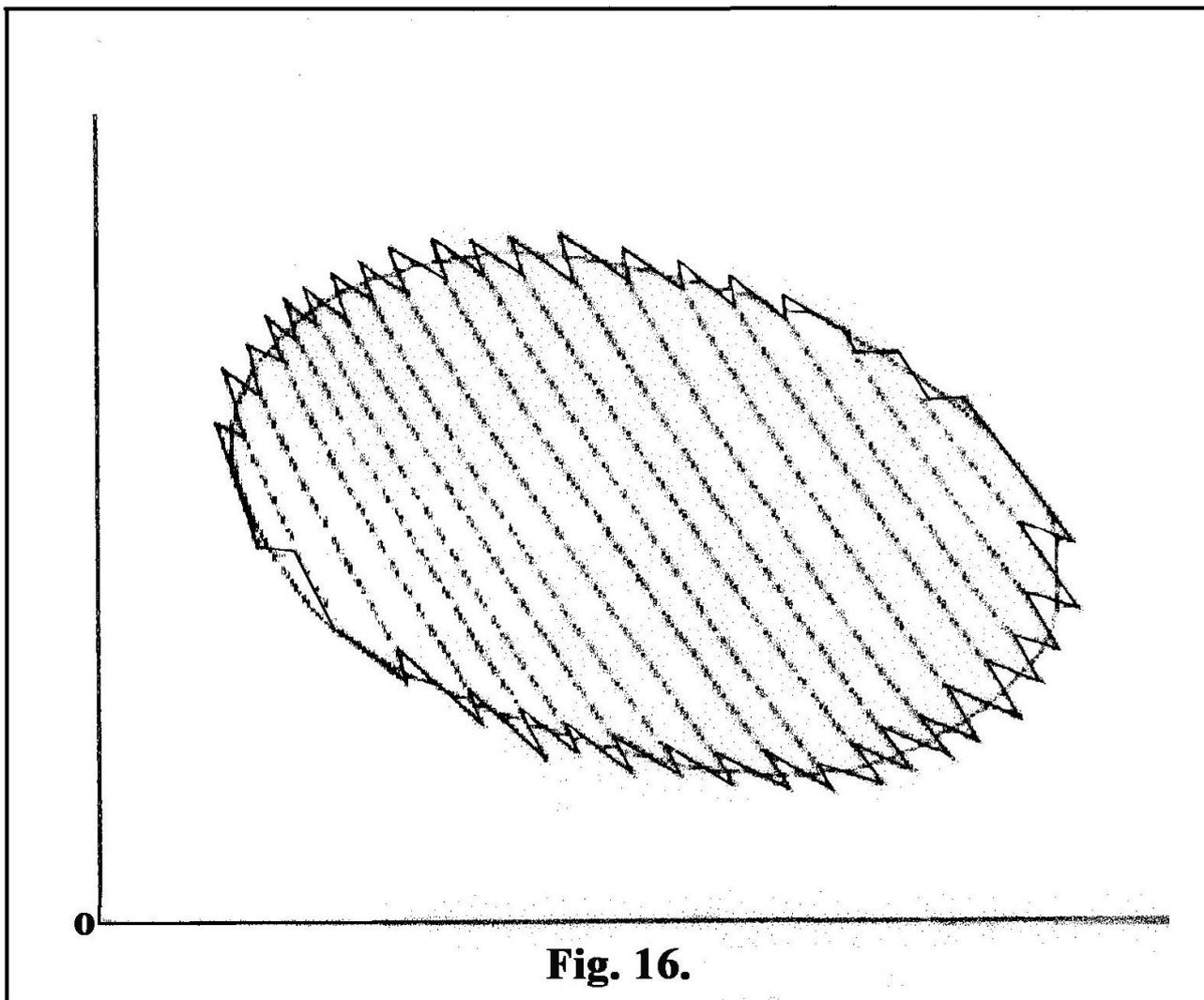
Fig. 14.

CLAUSIUS dimostra che un qualsiasi punto nel piano delle variabili di stato di un corpo può essere considerato come intersezione di due successioni di curve facenti parte di trasformazioni isoterme e adiabatiche (o isentropiche).

Poi, con l'ausilio della Figura n.15 (p. 88), egli mostra che un qualunque percorso reversibile (anche aperto, ovvero non chiuso a formare un ciclo) può essere approssimato con una serie di segmenti di adiabatiche e di isoterme.



Sulla scorta delle precedenti osservazioni, CLAUSIUS mostra che un qualunque percorso ciclico reversibile può essere approssimato con una successione di trasformazioni isoterme e adiabatiche (o isentropiche), come illustrato nella sua Figura n.16 (p. 89).



Osservando tale figura, ci si rende conto che un qualunque percorso ciclico in quel piano cartesiano può essere considerato come composto da tanti cicli di CARNOT affiancati uno accanto all'altro.

CLAUSIUS immagina di aumentare a dismisura questa suddivisione del percorso ciclico, restringendo sempre più la larghezza degli immaginari cicli di CARNOT e quindi facendone crescere il numero.

Giunto a questa ineccepibile considerazione, CLAUSIUS, sulla base delle sue (erronee) dimostrazioni, ritiene di poter affermare che per ogni numero finito di tali cicli di CARNOT debba valere l'equazione (14), ovvero

$$\Sigma Q/T = 0$$

In seguito, facendo tendere il numero dei cicli di CARNOT al limite, e sempre basandosi sulle sue (errate) dimostrazioni, CLAUSIUS ritiene che l'equazione (14) possa essere rimpiazzata dall'integrale seguente:

$$\int dQ/T=0 \quad (15)$$

L'equazione (15) è universalmente conosciuta come “Integrale di CLAUSIUS”.

CLAUSIUS termina il Capitolo III a (p. 90) con le seguenti conclusioni:

“Questa equazione, che fu precedentemente pubblicata dall'autore nel 1854 (Pogg. Ann. Vol. 93, p. 500), forma una espressione molto conveniente per il secondo Principio fondamentale della Teoria Meccanica del Calore, in quanto si riferisce a processi reversibili. Questo Principio può essere espresso con parole come segue: Se in un Processo Ciclico reversibile ogni elemento di calore scambiato (positivo o negativo) viene diviso per la temperatura assoluta alla quale è preso, e il differenziale così formato viene integrato per l'intero corso del processo, l'integrale così ottenuto è uguale a zero.

Se l'integrale $\int dQ/T$, corrispondente ad ogni data successione di variazioni di un corpo, è sempre uguale a zero sempre che il corpo ritorni infine alla sua condizione originaria, qualunque possano essere le condizioni che intervengono, allora ne consegue che l'espressione sotto il segno di integrale, cioè dQ/T , deve essere il differenziale perfetto di una quantità, dipendente solo dallo stato attuale del corpo, e completamente indipendente dal modo in cui esso è stato portato in tale condizione. Se denotiamo questa quantità con S , possiamo scrivere

$$dQ/T=dS$$

oppure

$$dQ=TdS \quad (VI)$$

una equazione che forma un'altra espressione, molto conveniente nel caso di certi studi, per il secondo principio fondamentale della Teoria Meccanica del Calore.”

5.43 CRITICA: L'ILLOGICITÀ DERIVATA DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS PER CICLI DI MAGGIORE COMPLESSITÀ

Le ragioni che ci hanno condotto a dichiarare privo di significato il ragionamento sviluppato da CLAUSIUS per adattare l'equazione (2) a numeri sempre maggiori di cicli di CARNOT affiancati, e di consentirgli di giungere alle equazioni (11), (12), (13), (14), (15) e (VI) restano ancora valide.

Pertanto, non possiamo condividere il concetto tramandatoci da CLAUSIUS, e condiviso dalla Comunità Scientifica, che l'integrale di CLAUSIUS sia uguale a zero per un qualunque processo reversibile composto da un qualsiasi numero di cicli di CARNOT.

Per quanto abbiamo finora visto, questa equazione non è stata ancora dimostrata, salvo che qualcuno di Voi, lettori del futuro, riesca a risolvere il seguente esercizio.

5.44 ESERCIZIO PER I LETTORI

Trovare dimostrazioni delle equazioni (14), (15) e (VI) che siano indipendenti dal ragionamento che ha portato CLAUSIUS a scrivere l'equazione (2).

5.45 ULTIMA OCCASIONE PER CLAUSIUS DI DIMOSTRARE IL PRINCIPIO DI EQUIVALENZA DELLE TRASFORMAZIONI

Nonostante il fatto che il nostro percorso critico potrebbe terminare qui, è nostro dovere verificare se CLAUSIUS sia riuscito a modificare, e rendere finalmente condivisibile, l'impostazione di un

concetto molto importante per la teoria dinamica del calore: Il concetto di Equivalenza delle trasformazioni reversibili.

Proseguendo quindi l'esame della raccolta delle memorie di CLAUSIUS, troviamo il Capitolo IV (p. 91), nel quale egli presenta la sua versione finale del “Principio di Equivalenza delle Trasformazioni”.

CLAUSIUS aveva già enunciato questo teorema nel 1854, ma avevamo anche verificato che quella sua dimostrazione non era condivisibile.

Dal 1854 al 1879 sono trascorsi 25 anni, e quindi ci si aspetta di trovare, nella Raccolta delle memorie di CLAUSIUS, una dimostrazione convincente del concetto di equivalenza delle trasformazioni.

In tale raccolta, tuttavia, CLAUSIUS ripropone gli stessi concetti e in massima parte le stesse frasi e parole usate nella sua memoria di venticinque anni prima.

Esaminiamo tuttavia con cura anche quest'ultima opera di CLAUSIUS, e per fare questo consideriamo dapprima il suo Paragrafo n.2 (*On a Cyclical Process of Special Form*) e il Paragrafo n.3 (*On Equivalent Transformations*) in cui egli tenta di nuovo di dare la definizione di Trasformazioni Equivalenti.

CLAUSIUS fa subito riferimento alla stessa Figura n.17 usata nella memoria del 1854 (p. 93).

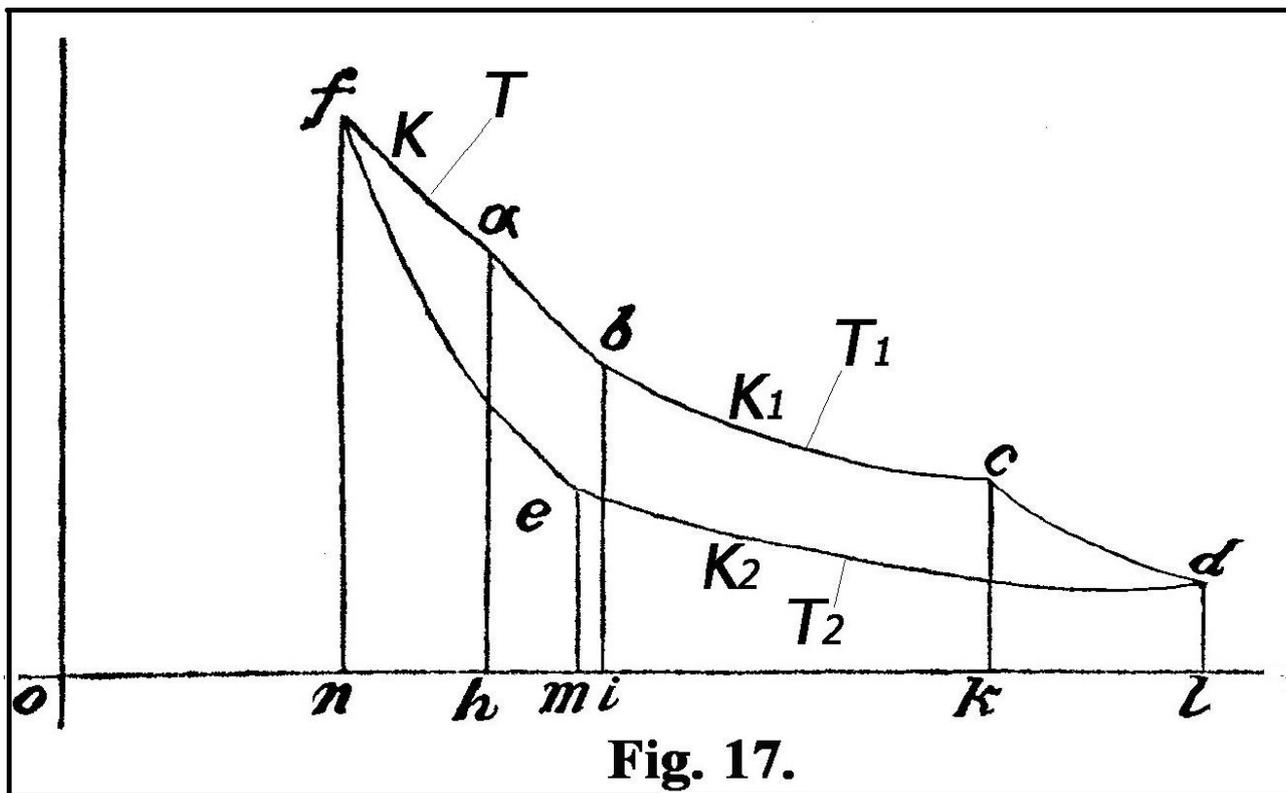


Fig. 17.

Al riguardo, CLAUSIUS scrive quanto segue (p. 96):

“§ 2 – *Su un Processo Ciclico di forma speciale.*

Prendiamo di nuovo un corpo variabile, la cui condizione è completamente determinata dal suo volume e pressione, cosicché possiamo rappresentare le sue variazioni in modo grafico nel modo già descritto. A titolo di esempio costruiremo la figura nella forma che assume per un gas perfetto, ma senza fare nell'indagine alcuna assunzione limitante su quale sia la natura del corpo. Prendiamo inizialmente il corpo nelle condizioni definite dal punto a in Figura 17, il volume del quale è dato dall'ascissa oh, e la sua pressione dall'ordinata ha. Sia T la temperatura corrispondente a queste due quantità, e determinata da esse. Ora sottoporremo il corpo alle seguenti variazioni successive:

(1) *La temperatura T del gas è cambiata a T₁, che supporremo inferiore a T. Questo si può fare racchiudendo il gas dentro un recipiente non-conduttore, cosicché esso non possa né assorbire né cedere calore, e poi consentiamogli di espandersi. La diminuzione di pressione causata dal simultaneo aumento di volume e calo di*

temperatura è rappresentata dalla curva isentropica ab ; cosicché, quando la temperatura del gas ha raggiunto T_1 , il suo volume e la sua pressione sono diventati rispettivamente o_i e i_b .

(2) Il corpo variabile è messo in comunicazione con un corpo K_1 avente la temperatura T_1 , e quindi fatto espandere ulteriormente, ma in modo tale che tutto il calore perso nell'espansione gli sia restituito da K_1 . Rispetto a quest'ultimo si assume che, a seconda della sua dimensione o per qualche altra causa, la sua temperatura non è alterata in modo percettibile da questa cessione di calore, e possa quindi essere considerata costante. Quindi anche il corpo variabile conserverà durante l'espansione la stessa temperatura costante T_1 , e la diminuzione della sua pressione sarà rappresentata dalla curva isoterma bc . Chiamiamo Q_1 la quantità di calore erogata da K_1 .

(3) Il corpo variabile viene distaccato da K_1 , e si fa ancor più espandere, senza poter né assorbire né cedere calore, fino a che la sua temperatura è caduta da T_1 a T_2 . La diminuzione di pressione è rappresentata dalla curva isentropica cd .

(4) Il corpo variabile è messo in contatto con il corpo K_2 , a temperatura costante T_2 , e viene quindi compresso, impartendo tutto il calore di compressione a K_2 . Questa compressione prosegue fintanto che K_2 ha ricevuto la stessa quantità di calore Q_1 , che fu estratta da K_1 . In questo caso la pressione aumenta secondo la curva isoterma de .

(5) Il corpo variabile viene distaccato da K_2 , e fatto comprimere, senza poter assorbire o cedere calore, fino a che la sua temperatura è aumentata da T_2 al valore originale T , mentre la pressione aumenta secondo la curva isentropica ef . Il volume o_n , al quale il corpo è portato da questo processo, resta minore di quello originale o_h , fino a che la pressione da superare, e conseguentemente il lavoro esterno da trasformare in calore, è minore durante la

compressione de rispetto alla espansione bc; cosicché, per ripristinare la stessa quantità di calore Q_1 , la compressione deve continuare più di quanto sarebbe stato necessario per annullare semplicemente l'espansione.

(6) Il corpo variabile è messo in contatto con il corpo K a temperatura costante T , e fatto espandere fino al suo volume originale oh , il calore perduto nell'espansione essendo fornito da K . Chiamiamo Q la quantità di calore da ciò richiesta.

Se il corpo K torna al suo volume originario oh alla temperatura T , allora la pressione deve ritornare al valore originale, e la curva isoterma, che rappresenta questa ultima espansione, terminerà esattamente nel punto a .

Le sei trasformazioni di cui sopra compongono nel loro insieme un Processo Ciclico, dato che il corpo variabile viene infine esattamente riportato alla sua condizione originale. Dei tre corpi, K, K_1, K_2 , che nell'intero processo vengono in considerazione solo in quanto servono da sorgenti o riserve di calore, i primi due hanno perso infine le quantità di calore Q, Q_1 rispettivamente, mentre l'ultimo ha guadagnato la quantità di calore Q_1 ; questo si può esprimere dicendo che Q_1 è passato da K_1 a K_2 , mentre Q è contemporaneamente scomparso. Quest'ultima quantità di calore deve, per il primo principio fondamentale, essere stata trasformata in lavoro esterno. Questo guadagno di lavoro esterno è dovuto al fatto che nel processo ciclico la pressione, e quindi il lavoro positivo è maggiore di quello negativo; il suo valore è rappresentato, come si può vedere facilmente, dall'area della curva chiusa abcdefa.

Se chiamiamo questo lavoro W , abbiamo l'equazione (5a) del Capitolo I.

$$Q = W$$

Si vede facilmente che il processo ciclico di cui sopra comprende come caso speciale il processo trattato all'inizio del Capitolo III, e rappresentato in Fig. 8. In quanto se facciamo la speciale assunzione che la temperatura T del corpo K sia uguale alla temperatura T_1 del corpo K_1 , possiamo allo stesso tempo fare a meno di K , e usare al suo posto K_1 . Il risultato del processo sarà quindi che una parte del calore ceduto dal corpo K_1 , è stato trasformato in lavoro, e l'altra parte è stata trasferita al corpo K_2 , proprio come è stato il caso nel processo sopra menzionato.

L'insieme di questo processo ciclico può anche essere percorso in ordine inverso. Il primo passo sarà quindi di collegare il corpo variabile con K , e produrre, invece della espansione finale fa del caso precedente, una iniziale compressione af: e similmente le espansioni fe e ed, e le compressioni dc, cb, e ba saranno prodotte una dopo l'altra, sotto esattamente le stesse circostanze del primo caso opposto. È ovvio che le quantità di calore Q e Q_1 saranno assorbite dal corpo K e K_1 rispettivamente, e la quantità di calore Q_1 sarà ceduta dal corpo K_2 . Allo stesso tempo il lavoro negativo è ora maggiore di quello positivo, cosicché l'area della figura chiusa rappresenta ora una perdita di lavoro. Il risultato del processo invertito è quindi che la quantità di calore Q_1 è stata trasferita da K_2 a K_1 , e che la quantità di calore Q è stata generata dal lavoro e fornita al corpo K .

A Pag. 96 si trova quanto segue:

“§ 3. Sulle Trasformazioni Equivalenti

Per comprendere la mutua dipendenza delle due trasformazioni simultanee sopra descritte, cioè il trasferimento di Q_1 , e la conversione in lavoro di Q , dobbiamo prima assumere che le temperature di queste sorgenti di calore rimangano le stesse, ma che i processi ciclici, attraverso i quali le trasformazioni vengono effettuate, siano differenti. Questo può accadere sia perché corpi

variabili diversi sono soggetti a simili variazioni, o perché lo stesso corpo è soggetto a qualunque altro processo, alla sola condizione che i tre corpi K , K_1 e K_2 siano i soli corpi che ricevono o cedono calore, e anche che dei due ultimi (K_1 e K_2 – ndr) l'uno riceva proprio quanto l'altro cede. Questi diversi processi possono essere sia reversibili, come nel caso considerato, o non reversibili; e la legge che governa le trasformazioni varierà di conseguenza. Tuttavia le modificazioni che la legge subisce per i processi non reversibili può essere applicata in un successivo momento, e quindi al momento attuale ci limiteremo a considerare processi reversibili. Da tutto ciò ne consegue in base al Principio di cui sopra nell'ultimo capitolo (p. 78) [Un trasferimento di calore da un corpo più freddo ad un altro più caldo non può verificarsi senza compensazione - ndr] che la quantità di calore Q_1 , trasferita da K_1 a K_2 , deve stare in relazione costante con la quantità di calore Q trasformata in lavoro.

Infatti supponiamo che esistano due processi tali, in cui, mentre Q è lo stesso in entrambi, Q_1 sia diverso : allora noi potremmo eseguire successivamente quello in cui Q_1 fosse il minore nel verso diretto, e l'altro nel verso opposto.

In questo caso la quantità di calore Q , che nel primo processo verrebbe trasformata in lavoro, sarebbe trasformata nel secondo processo di nuovo in calore e restituita indietro al corpo K ; e anche sotto ogni altro aspetto alla conclusione tutto sarebbe ripristinato nella sua condizione originale, con la sola eccezione che la quantità di calore trasferita da K_2 a K_1 nel secondo processo, sarebbe più grande della quantità trasferita da K_1 a K_2 nel primo processo.

Perciò nel complesso abbiamo un trasferimento di calore dal corpo più freddo K_2 al corpo più caldo K_1 , con nulla che lo compensi. Poiché questo contraddice il principio fondamentale, ne segue che

la supposizione di cui sopra non può essere vera; in altre parole Q deve sempre stare nello stesso rapporto con Q_1 .

Delle due trasformazioni in un processo reversibile come sopra, ognuna può rimpiazzare l'altra, posto che quest'ultima sia considerata nella direzione opposta : in altre parole, se una trasformazione di un tipo ha avuto luogo, questa può essere di nuovo invertita, e una trasformazione dell'altro tipo sostituita al suo posto, senza il verificarsi di alcun cambiamento permanente. Ad esempio, sia Q la quantità di calore generata in qualunque modo dal lavoro, e assorbita dal corpo K ; allora tramite il processo ciclico sopra descritto essa può essere di nuovo sottratta al corpo K , e trasformata di nuovo in lavoro, ma nel fare ciò una quantità di calore Q_2 sarà trasferita dal corpo K_1 al corpo K_2 .

Di nuovo, se la quantità di calore Q_1 è stata precedentemente trasferita da K_1 a K_2 , realizzando il processo di cui sopra in ordine inverso, essa può essere trasferita indietro di nuovo a K_1 , mentre al contempo la quantità di calore Q , alla temperatura del corpo K sarà generata dal lavoro.

Si è quindi visto che due tipologie di trasformazioni possono essere trattate come processi della stessa natura; e due trasformazioni del genere, che mutuamente si rimpiazzano l'un l'altra nel modo indicato, saranno conseguentemente chiamate “Trasformazioni Equivalenti”.”

5.46 ANALISI DEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS PER TRASFORMAZIONI CON TRE SORGENTI DI CALORE

È necessario analizzare e commentare i ragionamenti di CLAUSIUS dei suoi paragrafi n. 2 e n. 3, precedentemente riportati integralmente, perché sono propedeutici al successivo paragrafo n. 4, in cui egli definisce il concetto di Valori-Equivalenti delle Trasformazioni reversibili.

Come abbiamo visto, CLAUSIUS ritiene di poter dimostrare che la quantità di calore trasferita da K_1 a K_2 sta in un rapporto costante con la quantità di calore Q convertita in lavoro.

Le premesse per tale dimostrazione si trovano nel paragrafo n. 2 (p. 92-96), in cui CLAUSIUS considera lo stesso ciclo complesso reversibile che aveva descritto nella memoria del 1854.

Tale ciclo si compone delle stesse trasformazioni del ciclo di CARNOT, cioè espansioni e compressioni adiabatiche, e espansioni e compressioni isoterme, ma in numero maggiore rispetto al semplice ciclo di CARNOT.

CLAUSIUS immagina queste trasformazioni concatenate, l'una dopo l'altra, in modo da formare un ciclo chiuso che, essendo composto da sole trasformazioni reversibili, costituisce, nel complesso, un ciclo reversibile.

Inizialmente CLAUSIUS limita a tre il numero di adiabatiche e di isoterme e porta anche a tre il numero dei corpi con cui il fluido può scambiare calore; chiama K , K_1 e K_2 questi tre corpi con temperatura crescente, e Q_1 la quantità di calore trasferita da K_2 a K_1 .

Ricordiamo che questo ciclo funziona in modo diretto (come motore): Consuma la quantità di calore Q e lo converte in lavoro meccanico W .

Poi CLAUSIUS immagina che tale ciclo possa funzionare invertito, come frigorifero, per cui tutte le grandezze fisiche restano uguali in quantità, ma il loro segno algebrico è invertito.

Successivamente, egli immagina che il ciclo motore e il ciclo frigorifero interagiscano tra loro.

È a questo punto (p. 96) che inizia il Capitolo n.3, intitolato “*Sulle Trasformazioni Equivalenti*”, in cui CLAUSIUS introduce il suo ragionamento per dimostrare la tesi che la quantità di calore Q_1 sta

in un rapporto costante con Q , la quantità di calore convertita nel lavoro W .

Nel Paragrafo n. 3, CLAUSIUS considera due diverse configurazioni di processi ciclici contrapposti.

La prima configurazione prevede le stesse trasformazioni per i due cicli contrapposti, però nel ciclo motore viene impiegato un certo corpo materiale come corpo variabile, mentre un diverso corpo materiale variabile per il ciclo invertito.

La seconda configurazione prevede che per il ciclo motore e il ciclo frigorifero sia impiegato lo stesso corpo, ma che i processi del ciclo motore siano diversi rispetto al ciclo frigorifero.

Osserviamo che CLAUSIUS **non** considera la configurazione in cui il ciclo motore e il ciclo frigorifero sono composti dalle stesse trasformazioni fatte eseguire allo stesso corpo variabile.

CLAUSIUS suppone che le temperature dei tre corpi K siano dello stesso valore per entrambi i cicli, e impone le prime due condizioni per il sistema (p. 96):

1) “...i tre corpi K , K_1 e K_2 siano i soli corpi che ricevono o cedono calore”;

2) “...e anche che dei due ultimi (K_1 e K_2 – ndr) l'uno riceva proprio quanto l'altro cede”.

Inizialmente CLAUSIUS limita la dimostrazione alle sole trasformazioni reversibili, rimandando ad altro capitolo la dimostrazione per quelle irreversibili.

È a questo punto che inizia realmente la dimostrazione (secondo capoverso di p. 96), laddove CLAUSIUS in pratica enuncia la TESI che vorrebbe dimostrare: *“Da tutto ciò ne consegue in base al Principio di cui sopra nell'ultimo capitolo (p. 78) [Un trasferimento di calore da un corpo più freddo ad un altro più caldo non può*

verificarsi senza compensazione - ndr] che la quantità di calore Q_1 , trasferita da K_1 a K_2 , deve stare in relazione costante con la quantità di calore Q trasformata in lavoro.”

Per dimostrare che questa tesi è vera, CLAUSIUS utilizza il principio del terzo escluso, ragionando come segue: Se si avanza l'ipotesi dell'esistenza di due cicli reversibili con valore di Q uguale per entrambi, ma Q_1 di valore diverso, allora il ciclo in cui Q_1 è minore potrebbe funzionare come motore mentre l'altro ciclo potrebbe lavorare invertito (come frigorifero).

Al termine di entrambi i cicli (ecco il punto cruciale), tutto tornerebbe allo stato iniziale, tranne che una certa quantità di calore sarebbe passata dal corpo freddo K_2 al corpo più caldo K_1 .

Ma poiché ciò è in contraddizione con l'assioma, CLAUSIUS conclude che l'ipotesi prospettata è impossibile, e quindi Q deve stare sempre in rapporto costante con Q_1 per qualunque ciclo reversibile.

Vediamo subito quali sono le omissioni e gli errori contenuti in questo ragionamento di CLAUSIUS – ciò che ci consente di affermare come neanche nel 1879 CLAUSIUS sia riuscito a dimostrare la sua ambita tesi, che Q_1 debba stare in rapporto costante con Q per qualunque ciclo reversibile.

5.47 CRITICA: PRIMA IRRAZIONALITA' NELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” CON TRE RISERVE DI CALORE

La prima irrazionalità che si riscontra nel ragionamento di CLAUSIUS relativo al teorema delle Trasformazioni Equivalenti (p. 96), consiste nella seguente contraddizione Logica:

La conseguenza dell'ipotesi che Q_1 sia diverso per i due cicli, è che, nella loro opportuna combinazione, “...nel complesso abbiamo un trasferimento di calore dal corpo più freddo K_2 al più caldo K_1 con nulla in compensazione per esso”, prima di essere contraria all'assioma, è contraria alla seconda condizione iniziale posta dallo stesso CLAUSIUS, che i due corpi K_1 e K_2 si scambiano sempre uguali quantità di calore, sia nel ciclo motore che in quello frigorifero (p. 96).

Se, infatti, per tale condizione imposta al sistema, le quantità di calore che si scambiano i corpi K_1 e K_2 sono uguali e di segno opposto, sia nel ciclo motore che in quello frigorifero, la loro somma algebrica dovrà essere nulla per ogni ciclo e per la combinazione dei due cicli.

Pertanto, la “conseguenza” dell'ipotesi è innanzi tutto contraddittoria rispetto alla seconda condizione imposta al sistema.

Infatti CLAUSIUS non può certamente ritenere che tale scambio di calore possa avvenire per contatto diretto tra K_1 e K_2 , ma solo per il tramite del corpo variabile.

Dunque, la “conseguenza” è contraria alle condizioni imposte, e allora poco importa che sia contraria anche all'assioma il quale, d'altra parte, è un vincolo ipotetico - meno cogente di una condizione iniziale imposta al sistema.

Questa contraddizione sconvolge l'intero assetto della dimostrazione di CLAUSIUS ed ha tre conseguenze.

La prima conseguenza è che, ancora una volta e per l'ultima volta, CLAUSIUS non dimostra la sua tesi che Q_1 stia in rapporto costante con Q per i cicli reversibili da lui considerati; la seconda conseguenza è che il suo assioma si è rivelato irrilevante (o inutile) ai fini della dimostrazione per assurdo; la terza conseguenza è che

viene meno la necessità di distinguere tra trasformazioni circolari reversibili e irreversibili.

5.48 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che l'irrazionalità imputata a CLAUSIUS dall'autore non esiste oppure è irrilevante ai fini della dimostrazione.

5.49 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” PER TRE RISERVE DI CALORE

Sfortunatamente, anche nel caso in cui qualche lettore dovesse riuscire a risolvere l'esercizio di cui sopra, esistono altri motivi per rigettare la dimostrazione di CLAUSIUS delle “Trasformazioni Equivalenti”.

Per scoprire questi altri motivi, è necessario razionalizzare i confusi ragionamenti di CLAUSIUS.

CLAUSIUS ammuccia e affastella in poche righe (come già fece nella memoria del 1854), una quantità di concetti: Tesi, Ipotesi, Assioma, Condizioni e Dimostrazione per assurdo.

È quindi necessario tentare di dipanare i frettolosi discorsi esposti nel Capitolo IV, Paragrafi 2 e 3 della Raccolta, per comprendere se vi siano altre motivazioni, oltre quella sopra evidenziata della contraddizione interna, per dichiarare definitivamente non-condivisibile la dimostrazione di CLAUSIUS delle “Trasformazioni Equivalenti”.

Iniziamo a ricordare che CLAUSIUS definisce solo tre proprietà per i corpi K , K_1 e K_2 (p. 93-94):

- 1) La costanza delle loro temperature;
- 2) L'uguaglianza delle quantità di calore scambiate da K_1 e da K_2 ;

3) I corpi K , K_1 e K_2 sono i soli che scambiano calore.

CLAUSIUS non pone alcuna condizione circa l'isolamento termico interno tra i corpi K , K_1 e K_2 , e tra essi e il mondo esterno.

Pertanto, nonostante possa sembrare una assurdit ,   possibile immaginare che i corpi K , K_1 e K_2 scambino calore direttamente tra di loro, senza il tramite della macchina o comunque senza il tramite del corpo fluido variabile.

Dal momento che stiamo sottoponendo ad accurato esame il Capitolo IV della Raccolta delle memorie di CLAUSIUS, corre l'obbligo di considerare un aspetto da lui ignorato: Nella dimostrazione del teorema delle "Trasformazioni Equivalenti", infatti, CLAUSIUS ha considerato soltanto due configurazioni:

1) la prima configurazione in cui ciclo motore e ciclo invertito sono composti dalle stesse trasformazioni, ma corpo variabile di natura diversa;

2) la seconda configurazione in cui ciclo motore e il ciclo frigorifero impiegano lo stesso corpo, ma i processi del ciclo motore siano diversi rispetto al ciclo frigorifero.

La terza configurazione che CLAUSIUS non ha considerato nel Capitolo IV,   quella in cui il ciclo motore e ciclo invertito sono composti da trasformazioni identiche eseguite da un corpo variabile di uguale natura.

Ricordiamo, per la precisione, che nel Capitolo III (p. 73), CLAUSIUS aveva considerato tale configurazione, che prevedeva un corpo variabile in parte liquido e in parte in fase di vapore.

Tuttavia, il ragionamento di CLAUSIUS relativo a tale configurazione aveva uno scopo diverso da quello ora considerato.

Nel presente paragrafo ci occuperemo delle prime due configurazioni, in quanto possono essere trattate insieme, rimandando ad altro paragrafo l'esame della terza configurazione.

Prima di iniziare il nostro percorso di razionalizzazione, conviene ricordare alcuni punti essenziali.

CLAUSIUS imposta il sistema fisico in modo tale che il ciclo frigorifero complesso assorba tutto il lavoro prodotto dal ciclo motore complesso, per cui l'insieme dei due cicli non produce alcun lavoro meccanico utile.

Ricordiamo anche che CLAUSIUS non considera più solo cicli con differenze infinitesime di temperatura delle sorgenti, ma differenze di temperatura finite, e che egli ha premura di dimostrare subito che, anche in queste mutate condizioni (diverse da quelle considerate nel Capitolo III), Q_1 sta in rapporto costante con Q per cicli reversibili.

Ora dobbiamo verificare, per ognuna delle tre configurazioni di cui sopra, se il modo di dimostrare utilizzato da CLAUSIUS (la dimostrazione per assurdo) conduca ad una soluzione (in quanto esistono solo due casi opposti di cui uno assurdo), oppure se non vi sia soluzione (in quanto esistono tre diversi casi).

5.50 CRITICA: DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER IL TEOREMA DELLE TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI CON TRE RISERVE DI CALORE

Per individuare i possibili casi per il sistema fisico definito da CLAUSIUS, è necessario considerare le condizioni fisiche da lui imposte al ciclo diretto.

La prima condizione è che tutto il lavoro prodotto dal ciclo motore venga interamente assorbito dal ciclo frigorifero.

La seconda è che i cicli siano reversibili.

La terza è che i tre corpi K , K_1 e K_2 siano i soli che scambiano calore e che le loro temperature restino costanti.

La quarta condizione (punto 4 di cui sopra), è che dei due ultimi corpi (K_1 e K_2) l'uno debba ricevere tanto calore quanto l'altro ne cede (“...dei due ultimi (K_1 e K_2 – ndr) l'uno riceva proprio quanto l'altro cede”) (p. 96).

Per quanto riguarda il corpo K , CLAUSIUS non ha potuto imporre alcuna relazione tra il valore di Q e i valori di Q_1 e Q_2 , né al punto 6) di cui sopra né altrove.

È importante notare che non vi sono altre condizioni imposte al sistema; in particolare, non esiste alcuna condizione sul grado di isolamento termico per i corpi K , K_1 e K_2 , sia tra di loro che verso qualunque altra entità esterna.

Dato che dobbiamo considerare l'insieme dei due cicli contrapposti, fa comodo definire la grandezza fisica Delta- Q come somma algebrica del calore scambiato dal corpo K con entrambi i cicli contrapposti.

Delta- Q sarà dato quindi dalla differenza del valore assoluto del calore sottratto a K dal ciclo motore, e del valore assoluto del calore ceduto allo stesso corpo K dal ciclo frigorifero.

Il punto fondamentale è quindi il seguente: Per un sistema fisico composto da due cicli reversibili accoppiati uno contro l'altro, quanti e quali sarebbero i possibili casi per i valori di Delta- Q ?

In generale, per il sistema dei due cicli contrapposti, Delta- Q può essere minore di zero (negativo), o uguale a zero (nullo) oppure superiore a zero (positivo).

Conseguentemente, sarebbero tre i possibili casi: Delta- $Q < 0$ (negativo); Delta- $Q = 0$ (nullo); Delta- $Q > 0$ (positivo).

Prima di iniziare il ragionamento per la dimostrazione del teorema, e quindi prima di introdurre l'ipotesi, bisogna chiedersi se esista qualche criterio di natura fisica che consenta di eliminare uno dei tre casi di cui sopra.

VALORI NEGATIVI DI DELTA-Q

Il caso $\Delta Q < 0$ si verifica quando al corpo K viene costantemente sottratto calore. Poiché il lavoro prodotto complessivamente è nullo, una quantità di calore uguale a ΔQ dovrà necessariamente essere rigettata verso il corpo più freddo K_1 , o quello ancora più freddo K_2 , o entrambi.

Pertanto, non essendo ciò in contrasto con la Prima Legge Fondamentale della termodinamica (il principio di conservazione dell'energia), il caso $\Delta Q < 0$ non può essere escluso.

VALORI NULLI DI DELTA-Q

Il caso $\Delta Q = 0$ si verifica allorché le due macchine contrapposte sono perfettamente bilanciate, nel senso che il corpo K è soggetto ad uno scambio di calore complessivamente nullo. Poiché anche il lavoro complessivamente sviluppato è nullo, non esiste contrasto con la Prima Legge Fondamentale della termodinamica (il principio di conservazione dell'energia), e quindi il caso $\Delta Q = 0$ non può essere escluso.

VALORI POSITIVI DI DELTA-Q

Il caso $\Delta Q > 0$ si verifica quando il calore viene estratto dal corpo K_2 oppure da K_1 o da entrambi, e viene complessivamente trasferito al corpo caldo K.

Come per i precedenti due casi ($\Delta Q = 0$ e $\Delta Q < 0$), la Prima Legge Fondamentale non sarebbe violata, dato che la quantità di calore accumulata nel corpo K sarebbe uguale alla quantità di calore estratta dal corpo K_1 , o dal corpo K_2 o da entrambi.

Pertanto, non esiste alcuna ragione di natura fisica per escludere il caso $\Delta Q > 0$.

5.51 CRITICA: CONCLUSIONI SULLA DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI POSSIBILI CASI PER IL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” PER TRE RISERVE DI CALORE

L'analisi svolta nel precedente paragrafo, unitamente alla osservazione che CLAUSIUS non ha posto alcuna condizione circa la quantità di calore che il corpo variabile scambia con il corpo K, consente di concludere che nel suo sistema di due cicli contrapposti i possibili casi sono tre: $\Delta Q < 0$; $\Delta Q = 0$; $\Delta Q > 0$, e il loro numero non può essere ridotto a due soltanto con motivazioni di natura fisica.

D'altra parte, non si ravvede qualche considerazione di Logica che possa indurre ad escludere i casi $\Delta Q < 0$ e $\Delta Q = 0$, mentre il caso $\Delta Q > 0$ è proprio quello che, nelle intenzioni di CLAUSIUS, dovrebbe essere considerato “assurdo” in quanto contrario all'assioma, e quindi non può essere eliminato con considerazioni di logica.

I tre distinti casi di cui sopra sono, in definitiva, quelli possibili per le due configurazioni di cicli reversibili considerate da CLAUSIUS: La prima, con le stesse trasformazioni ma gas diversi, e la seconda con cicli e trasformazioni completamente diverse.

A questo punto, il problema fisico relativo alle due configurazioni di cicli considerate da CLAUSIUS è stato esattamente trasformato in un teorema matematico, che si vorrebbe risolvere con l'applicazione del principio del terzo escluso.

Attenzione, però: avendo ora trasformato il problema fisico in un problema puramente matematico, non è più possibile

introdurre altri concetti di natura fisica, o di logica, per escludere uno dei possibili casi.

5.52 CRITICA: INAPPLICABILITA' DEL PRINCIPIO DEL TERZO ESCLUSO NEL TEOREMA DI CLAUSIUS DELLE "TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI" CON TRE RISERVE DI CALORE

Dopo queste premesse, si può affermare che non esistono criteri che consentano di raggruppare i tre possibili casi ($\Delta Q < 0$; $\Delta Q = 0$; $\Delta Q > 0$) in due soltanto.

Sia pure seguendo in parte il pensiero dei matematici Intuizionisti, possiamo affermare che il principio del terzo escluso è utilizzabile solo in presenza di due possibili e contrapposti casi (o risultati).

Ne consegue che l'applicazione di tale principio logico al teorema delle "Trasformazioni Equivalenti" non può produrre una soluzione univoca.

L'ipotesi di CLAUSIUS, che finalmente possiamo considerare, che il calore introdotto nel corpo K sia maggiore in quantità, rispetto a quello che gli viene sottratto ($\Delta Q > 0$), non va a contrapporsi con un solo altro caso contrario, corrispondente alla tesi, ma con due casi ($\Delta Q < 0$ e $\Delta Q = 0$).

In tali condizioni, la dimostrazione per assurdo non può essere utilizzata come prova che Q_1 stia in rapporto costante con Q per i processi ciclici reversibili.

Osserviamo che non è stato necessario argomentare circa la reversibilità, o meno, delle due trasformazioni cicliche per giungere a tale conclusione.

Senza adottare l'intransigenza dei Matematici Intuizionisti, che rifiutano l'uso della dimostrazione per assurdo, anzi ammettendola, usando però solo il razionale criterio di verificare il numero dei casi

possibili, è diventato evidente il fatto che anche questa dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS non è condivisibile, a **prescindere dalla verità del suo assioma.**

In termini più crudi: La dimostrazione ideata da CLAUSIUS non sarebbe valida anche se per assioma si assumesse una qualsiasi proposizione.

In conclusione, per quanto riguarda il sistema termodinamico considerato da CLAUSIUS, composto di due cicli contrapposti con fluidi diversi o con trasformazioni diverse, si deve concludere che:

- 1) L'assioma di CLAUSIUS si è rivelato privo di utilità per la dimostrazione per assurdo;
- 2) La reversibilità attribuita ai due cicli contrapposti non ha alcun ruolo nel processo di razionalizzazione della dimostrazione;
- 3) Il ragionamento di CLAUSIUS non dimostra che Q_1 stia in rapporto costante con Q per qualunque processo ciclico reversibile, e quindi la dimostrazione di CLAUSIUS del teorema delle “Trasformazioni Equivalenti” non è condivisibile.

5.53 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che sono errate le argomentazioni addotte dall'autore per dichiarare non-condivisibile la dimostrazione del teorema di CLAUSIUS delle “Trasformazioni Equivalenti”.

5.54 CRITICA: RAZIONALIZZAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” PER LA CONFIGURAZIONE DI CICLI IDENTICI CONTRAPPOSTI E TRE RISERVE DI CALORE

Ricordiamo che CLAUSIUS, nel concepire il teorema delle “Trasformazioni Equivalenti”, non ha considerato la configurazione

in cui i due cicli sono composti dalle stesse trasformazioni reversibili con corpo variabile della stessa natura.

È opportuno razionalizzare la dimostrazione anche per questa configurazione, non prima, però, di aver verificato se per tale configurazione esista qualche criterio di natura fisica per ridurre il numero dei possibili casi a due soltanto.

Per quanto riguarda la condizione fisica di reversibilità delle trasformazioni, contrariamente a quanto abbiamo osservato per le prime due configurazioni, ora essa ha un ruolo.

La configurazione dei due cicli contrapposti è composta, infatti, sia per il motore che per il frigorifero, dallo stesso dispositivo reversibile con le stesse trasformazioni e il corpo variabile di uguale natura, e quindi l'ipotesi che Q sia uguale per ciclo motore e ciclo frigorifero, e che, allo stesso tempo, Q_1 abbia un certo valore per il ciclo motore, ma un valore diverso per il ciclo frigorifero, diventa immediatamente assurda in virtù della condizione di reversibilità.

Pertanto, la condizione di reversibilità implica che ΔQ debba essere sempre uguale a zero, ovvero, i casi $\Delta Q < 0$ e $\Delta Q > 0$ sono impossibili e vanno subito esclusi dal ragionamento.

Se quindi per questa configurazione ΔQ è sicuramente uguale a zero, allora si potrebbe trarre la conclusione che CLAUSIUS abbia ragione nel ritenere che Q_1 e Q stiano in rapporto costante, almeno nel caso di cicli reversibili identici con tre riserve di calore (Figura di CLAUSIUS n. 17), e che tale rapporto dipenda solo dalle temperature di tali riserve.

Ma vedremo che così non è.

5.55 CRITICA: DEFINITIVA CADUCAZIONE DELLA DIMOSTRAZIONE DI CLAUSIUS DEL TEOREMA DELLE “TRASFORMAZIONI EQUIVALENTI” CON TRE RISERVE

DI CALORE

La suddetta dimostrazione di CLAUSIUS delle “Trasformazioni Equivalenti” presenta un ulteriore difetto, oltre a quello relativo all'uso del principio del terzo escluso.

Quando CLAUSIUS considera i due cicli complessi e contrapposti con tre temperature (Paragrafo 3.), uno composto da segmenti del ciclo di CARNOT, l'altro qualsiasi, e inizia la sua dimostrazione per assurdo che abbiamo già esaminato, ritiene che l'ipotesi che esistano due cicli con diverso rendimento abbia le seguenti conseguenze (p. 96-97):

*“Perciò nel complesso abbiamo un trasferimento di calore dal corpo più freddo K_2 al corpo più caldo K_1 , con **nulla che compensi**. Poiché questo contraddice il principio fondamentale, ne segue che la supposizione di cui sopra non può essere vera; in altre parole Q deve sempre stare nello stesso rapporto con Q_1 .”*

Con quel “... **nulla che compensi**”, CLAUSIUS non tiene conto che si può “compensare” senza altre conseguenze, tramite il fenomeno spontaneo della conduzione di calore tra i tre corpi K , K_1 e K_2 .

Poiché le condizioni poste inizialmente da CLAUSIUS al sistema non vietano che ciò si possa fare, non farlo significa lasciare incompleta la dimostrazione del teorema degli Equivalenti.

È come se CLAUSIUS attribuisse, di fatto, ai corpi K , K_1 e K_2 una proprietà che in Natura non esiste e che neanche l'Uomo non può creare: Il perfetto isolamento termico reciproco tra i corpi materiali.

Infatti, nel ragionamento di CLAUSIUS, gli scambi di calore che comunque si verificano per ognuno dei tre corpi avvengono esclusivamente per il tramite del corpo materiale variabile.

Pertanto, come nel caso della memoria di KELVIN, anche nel teorema delle Trasformazioni Equivalenti è doveroso considerare che tra i corpi K , K_1 e K_2 si può far avvenire il fenomeno della

conducibilità termica in modo controllato – ciò che abbiamo precedentemente definito il “calore locale di compensazione” tra le sorgenti.

Ai lettori più esperti, però, sarà chiaro che CLAUSIUS intende un altro tipo di compensazione: Quella che dovrebbe intervenire sui cicli termodinamici contrapposti, provenendo da qualche altro meccanismo posto all'esterno del sistema.

Se invece nel sistema ideato da CLAUSIUS introduciamo il fenomeno della conducibilità termica nei termini di cui sopra, abbiamo sempre la possibilità di rendere nullo il bilancio di calore del corpo K con mezzi interni al sistema senza violare l'assioma.

Quindi, seppure il principio del terzo escluso fosse utilizzabile nella dimostrazione di CLAUSIUS, l'assioma di CLAUSIUS resterebbe ininfluenza, venendo a mancare il motivo di invocarlo.

L'argomento della incompletezza della dimostrazione di CLAUSIUS vale sia per cicli contrapposti completamente diversi tra loro, che per la configurazione dei cicli identici sotto ogni punto di vista.

A ben vedere, quindi, vi sono ben due distinte ragioni per ritenere che il ragionamento di CLAUSIUS non dimostri assolutamente nulla, circa l'equivalenza delle trasformazioni, neppure per il caso banale di due contrapposti cicli identici in ogni aspetto.

5.56 IL CONCETTO DI “VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI” CON TRE RISERVE DI CALORE

Proseguendo l'esame del Capitolo IV della Raccolta delle memorie di CLAUSIUS, troviamo il Paragrafo n. 4 (p. 97) dal titolo:

“Valori-Equivalenti delle Trasformazioni”,

nel quale CLAUSIUS, non essendo consapevole che la sua dimostrazione relativa al concetto di “Trasformazioni Equivalenti”

non è valida, la utilizza per introdurre il nuovo concetto di “Valore-Equivalente delle Trasformazioni”.

Nel primo capoverso del Paragrafo n. 4, infatti, CLAUSIUS scrive:

“Ora dobbiamo trovare la legge secondo la quale le trasformazioni di cui sopra devono essere espresse matematicamente, cosicché l'equivalenza delle due possa scaturire dall'uguaglianza dei loro valori. Il valore matematico di una trasformazione così determinato può essere denominato il suo “Valore-Equivalente”.

CLAUSIUS considera, ancora una volta, due sistemi ciclici contrapposti, ipotizzando che uno prevalga sull'altro, e ciò gli consente di scrivere (fine p. 100 – inizio di p. 101):

“Se chiamiamo con Trasformazioni Equivalenti due trasformazioni che possono cancellarsi reciprocamente senza richiedere alcun altro cambiamento, allora la generazione di lavoro della quantità di calore Q alla temperatura τ ha il Valore Equivalente Q/τ e il trasferimento della quantità di calore dalla temperatura T_1 alla temperatura T_2 ha il Valore Equivalente

$$Q(1/\tau_2 - 1/\tau_1)$$

in cui è una funzione della temperatura indipendente dal tipo di processo tramite il quale la trasformazione viene realizzata.”

Come si vede, CLAUSIUS, definisce il concetto di “Valore-Equivalente” di una trasformazione sulla sola base del precedente teorema delle “Trasformazioni Equivalenti”, che egli crede di aver dimostrato.

5.57 CRITICA: INUTILITA' DELL'ANALISI DEL TEOREMA DI CLAUSIUS DEL “VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI” CON TRE RISERVE DI CALORE

L'analisi del Paragrafo n. 4 di cui sopra, costituirebbe un vero spreco di risorse mentali ed un inutile esercizio.

Il nuovo concetto di “Valore-Equivalente delle Trasformazioni”, infatti, scaturisce come immediato corollario del precedente teorema delle “Trasformazioni Equivalenti” di CLAUSIUS - quello che egli ha creduto di aver portato a termine con risultato univoco.

Conseguentemente, mentre dobbiamo dichiarare completamente privo di significato l'intero contenuto del Paragrafo n. 4 (da p. 97 a p. 101), avanziamo la speranza che esistano modalità diverse per dimostrare che i concetti di “Trasformazioni Equivalenti” e “Valore-Equivalente delle Trasformazioni” diventino concepibili e reali, mentre allo stato attuale dell'analisi essi sembrano essere frutto di pura fantasia.

5.58 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che l'autore sbaglia nell'affermare che la dimostrazione per assurdo di CLAUSIUS delle “Trasformazioni Equivalenti” non è valida.

5.59 IL “VALORE-EQUIVALENTE DELLE TRASFORMAZIONI” CON NUMERO ILLIMITATO DI RISERVE DI CALORE

Abbiamo visto, nei paragrafi precedenti, che CLAUSIUS ritiene di aver dimostrato che per il ciclo reversibile con tre riserve di calore (la sua Figura 17) esiste un rapporto costante tra Q_1 e Q , è ciò consentirebbe di definire dapprima il concetto di “Trasformazioni Equivalenti”, poi il concetto di “Valore-Equivalente” di una trasformazione.

Non si può però escludere l'eventualità che, aumentando il numero delle riserve di calore, gli errori introdotti da CLAUSIUS in tali dimostrazioni scompaiano.

È quindi nostro dovere continuare l'esame critico del Paragrafo n. 4, nel quale si trovano le premesse per i successivi ragionamenti

contenuti nei Paragrafi 5 e 6, laddove CLAUSIUS definisce una funzione matematica valida in generale per qualunque trasformazione reversibile.

Abbiamo già visto che nel Paragrafo 4 (p. 97) CLAUSIUS sviluppa un metodo per assegnare un valore matematico alle trasformazioni da lui ritenute “Equivalenti”.

Nel primo capoverso, infatti, abbiamo trovato quanto segue:

“Ora dobbiamo trovare la legge secondo la quale le trasformazioni di cui sopra devono essere espresse matematicamente, cosicché l'equivalenza delle due possa apparire dall'uguaglianza dei loro valori. Il valore matematico della trasformazione può essere chiamato, essendo così determinato, il suo “Valore-Equivalente”.

Abbiamo anche visto che nel paragrafo 4 CLAUSIUS continua a trattare il ciclo complesso con i soli tre corpi K , K_1 e K_2 , e scrive (p. 100):

“Se chiamiamo Trasformazioni Equivalenti due trasformazioni che possono cancellarsi reciprocamente senza che si verifichi nessun altro cambiamento permanente, allora la generazione di lavoro da parte della quantità di calore Q alla temperatura τ ha il valore equivalente Q/τ ; e il trasferimento della quantità di calore Q dalla temperatura T_1 alla temperatura T_2 ha il valore equivalente $Q(1/t_2 - 1/t_1)$ in cui τ è una funzione della temperatura che è indipendente dal tipo di processo attraverso il quale è realizzata la trasformazione.”

Ciò che è importante notare nello stralcio sopra riportato, è che CLAUSIUS, essendo convinto di aver definito il concetto di Equivalenza delle Trasformazioni, crede di aver trovato un metodo più semplice, e di valenza generale, per quantificare il valore di tale entità – metodo che egli ritiene si possa applicare ad ogni caso particolare senza effettuare ulteriori prove per verificare se tale metodo sia valido.

CLAUSIUS ritiene, infatti, che si possa sempre determinare il valore dell'Equivalente di una generica trasformazione come uguale al rapporto tra il calore scambiato (Q) dalla trasformazione e la temperatura (T) alla quale essa si verifica.

Secondo CLAUSIUS, se una trasformazione è reversibile e fa scomparire il calore Q , necessariamente produce una corrispondente quantità di lavoro “e niente altro”; poi questo lavoro si può di nuovo trasformare tutto in calore tramite un'altra trasformazione reversibile, la cui quantità sarà di nuovo esattamente uguale a Q .

Passiamo al successivo Paragrafo n. 5, dove CLAUSIUS sfrutta la semplicità che offrirebbe questa nuova regola per quantificare il valore dell'Equivalente per aumentare il numero delle sorgenti di calore e il numero delle trasformazioni che compongono una trasformazione circolare reversibile.

Il Paragrafo 5 è infatti intitolato “*Valori combinati di tutte le trasformazioni che si verificano in un singolo Processo Ciclico*”.

A pagina 101 troviamo quanto segue:

“Tramite questa regola è facile per qualunque Processo Ciclico comunque complicato, in cui prende luogo qualunque numero di trasformazioni di entrambi i tipi, dedurre l'espressione matematica che rappresenta il valore combinato di tutte queste trasformazioni. Per questo scopo, quando una quantità di calore è rilasciata da una sorgente di calore, non abbiamo alcun bisogno di chiederci preventivamente quale porzione di essa sia trasformata in lavoro, e cosa diventa il resto; ma possiamo invece considerare ogni quantità di calore espulsa dalle sorgenti di calore che ci sono nel processo ciclico come interamente trasformate in lavoro, e ogni quantità di calore assorbita come generata da lavoro. Perciò se assumiamo che i corpi K_1, K_2, K_3 , eccetera alle temperature T_1, T_2, T_3 eccetera, siano sorgenti di calore, e se Q_1, Q_2, Q_3 , eccetera sono le quantità di

calore espulse durante il processo ciclico, allora il valore combinato di tutte le trasformazioni che possiamo chiamare N, sarà rappresentato come segue:

$$N = -Q_1/\tau_1 - Q_2/\tau_2 - Q_3/\tau_3 - \text{ecc.}$$

o usando il segno di sommatoria,

$$N = - \sum Q/\tau \quad (7)''$$

Abbiamo verificato, tuttavia, che la dimostrazione di CLAUSIUS del teorema delle “Trasformazioni Equivalenti” reversibili non è condivisibile.

Ne consegue che le proposizioni contenute nello stralcio sopra riportato sono prive di significato, dato che non è provato che l'Equivalente di ogni singola trasformazione reversibile sia dato dal rapporto Q/τ .

Nel successivo Paragrafo n. 6, CLAUSIUS introduce una nuova funzione matematica per le trasformazioni reversibili, nota a tutti gli uomini di Scienza come “Integrale di CLAUSIUS”, ma per farlo, sfrutta proprio quel concetto di Equivalente delle Trasformazioni che noi abbiamo verificato essere finora privo di significato, e una tale constatazione deve necessariamente estendersi anche all'integrale di CLAUSIUS.

5.60 CRITICA: LA NUOVA “REGOLA” DI CLAUSIUS PER DETERMINARE IL “VALORE-EQUIVALENTE” DI UNA TRASFORMAZIONE

Come abbiamo visto, CLAUSIUS stabilisce una nuova “regola” per determinare in modo molto semplice il Valore-Equivalente di una trasformazione, partendo dalla configurazione di due cicli contrapposti che lavorano tra tre sole riserve di calore: i corpi K , K_1 e K_2 .

Osserviamo, però, che CLAUSIUS non effettua una importante verifica, che possiamo esprimere con il seguente quesito: Dato che tale “regola” è stata dedotta esaminando un ciclo con tre riserve di calore soltanto, per il quale sono state imposte determinate condizioni, sarà, detta regola, valida quando il numero delle riserve diventerà quattro, cinque o ancora di più?

E in tal caso, quali sarebbero le condizioni da imporre al sistema?

Tali perplessità sorgono dalla considerazione che CLAUSIUS, per dimostrare il teorema delle “Trasformazioni Equivalenti” (propedeutico a quello del “Valore-Equivalente”), ha dovuto imporre le seguenti condizioni al sistema con tre riserve di calore (p. 96):

1) “...i tre corpi K , K_1 e K_2 siano i soli corpi che ricevono o cedono calore”;

2) “...e anche che dei due ultimi (K_1 e K_2 – ndr) l'uno riceva proprio quanto l'altro cede”.

Di conseguenza, sorge spontaneo il quesito: Quali sarebbero le condizioni da imporre al sistema, qualora esso scambiasse calore con quattro riserve di calore, ovvero con i corpi K , K_1 , K_2 e K_3 ?

Molto probabilmente, bisognerebbe estendere la condizione n. 1) a quattro corpi, ma in tal caso, come bisognerebbe modificare la condizione n. 2) ?

5.61 ESERCIZIO PER I LETTORI

Sulla falsariga della dimostrazione di CLAUSIUS del teorema delle “Trasformazioni Equivalenti” con tre riserve di calore (ritenendola ipoteticamente esente da critiche), ripetere i suoi ragionamenti per estendere tale teorema a un sistema che scambia calore con quattro riserve di calore.

5.62 CRITICA: ULTERIORE MOTIVO DI ASSENZA DI SIGNIFICATO DELL'INTEGRALE DI CLAUSIUS

Seppure ammettiamo che il concetto di Valore-Equivalente sia provato, e che il suo valore numerico sia uguale a Q/T , una ulteriore considerazione, già evidenziata più e più volte, consente di affermare che la dimostrazione relativa all'integrale di CLAUSIUS è priva di significato.

Ricordiamo che CLAUSIUS ha diviso il processo ciclico in tante corde e per ognuna di esse ha calcolato il Valore Equivalente come uguale alla rispettiva frazione Q/t .

Le trasformazioni di un certo tipo daranno luogo a valori positivi dell'Equivalente, altre a valori negativi.

Il valore N di cui sopra (equazione 7, p. 102), ottenuto sommando un numero elevato di rapporti Q/t , o “sommatoria” di tutti i termini Q/t , si esprime simbolicamente premettendo la lettera Greca maiuscola Sigma (Σ):

$$N = -\Sigma Q/t$$

Per CLAUSIUS, la sommatoria $\Sigma Q/t$ rappresenta solo il valore approssimato dell'Equivalente del ciclo, perché la suddivisione del ciclo in un numero finito di sotto-cicli ne fornisce solo una valutazione approssimata.

Per avere valori sempre più precisi, bisogna aumentare il numero dei termini e al contempo diminuire la loro estensione.

Più numerosi e piccoli sono i termini della sommatoria, tanto più il valore della sommatoria stessa si avvicina a quello esatto.

Poiché non c'è alcun limite al numero dei termini, si può pensare di aumentarlo a dismisura, diminuendo, al contempo, la loro estensione.

In tal modo, i singoli termini tendono a diventare infinitesimi.

Usando una espressione non troppo corretta, possiamo dire che in matematica si chiama “Integrale” il limite a cui tende una sommatoria di infinitesimi quando il loro numero tende all'infinito, e si esprime con il simbolo

$$\int.$$

L'integrale, come sommatoria al limite di infinitesimi, fornisce un valore numericamente esatto della grandezza considerata da CLAUDIUS.

Semplifico il discorso, dicendo CLAUDIUS ritiene che il valore esatto di N sia rappresentato dall'integrale di Q/T:

$$N = - \int (Q/T) dT \quad (8)$$

Giungiamo, infine, al cruciale Paragrafo 6. di CLAUDIUS, intitolato “*Prova che in un Processo Ciclico reversibile il valore totale di tutte le trasformazioni deve essere uguale a zero*”.

Questo titolo è assai eloquente: Secondo CLAUDIUS, il valore di N di cui sopra deve essere uguale a zero per ogni trasformazione ciclica, purché reversibile.

Trascuro di riportare parti del discorso di CLAUDIUS che non ritengo importanti per lo scopo che mi sono prefisso.

Riporto, quindi, solo la parte essenziale.

Come più volte ripetuto, non ha molta importanza comprendere fino in fondo il complicato ragionamento di CLAUDIUS, in quanto la parte non divisibile non si trova nei dettagli matematici; si trova, invece, nella Logica di CLAUDIUS.

Questa parte interessante si trova a partire da pag. 104, dove si legge:

“Supponiamo quindi che vengano eseguiti due Processi Ciclici, in uno dei quali la quantità Q_1 è trasferita da K_2 a K_1 , e la quantità Q alla temperatura T sia pertanto generata da lavoro, mentre nel

secondo la stessa quantità Q è di nuovo trasformata in lavoro, e quindi un'altra quantità di calore trasferita da K'_1 a K'_2 . Questa seconda quantità deve essere esattamente uguale alla data quantità Q'_1 , e i due dati trasferimenti di calore sono quindi stati eseguiti al contrario. Quando con operazioni di questo tipo tutte le trasformazioni della prima suddivisione sono state eseguite all'indietro, allora restano le trasformazioni, tutte dello stesso segno, della seconda suddivisione, e non altre qualsiasi.

In primo luogo, se queste trasformazioni sono negative allora possono essere solo trasformazioni da calore in lavoro e trasferimenti da temperature più basse a temperature più alte; e di queste le trasformazioni del primo tipo possono essere rimpiazzate da trasformazioni del secondo tipo. Infatti se una quantità di calore Q a temperatura T è trasformata in lavoro, allora non dobbiamo far altro che percorrere in ordine inverso il processo ciclico descritto nel Paragrafo 2, in cui la quantità di calore Q a temperatura T è generata da lavoro, e allo stesso tempo un'altra quantità di calore Q_1 è trasferita dal corpo K_2 a temperatura T_2 ad un altro corpo K_1 a temperatura T_1 . Conseguentemente la data trasformazione da calore in lavoro è percorsa all'indietro, e rimpiazzata dal trasferimento di calore da K_2 a K_1 . Con l'applicazione di questo metodo, alla fine abbiamo soltanto trasferimenti di calore da temperature inferiori a superiori che non sono compensate in nessun modo. Poiché ciò contraddice il nostro principio fondamentale, la supposizione che le trasformazioni della seconda suddivisione siano negative deve essere non corretta.

In secondo luogo, se queste trasformazioni fossero positive, allora poiché il processo ciclico in considerazione è reversibile, l'intero processo può essere percorso in ordine inverso; in tal caso tutte le trasformazioni che in esso si verificano assumerebbero il segno opposto, e ogni trasformazione della seconda suddivisione

diventerebbe negativa. Siamo pertanto riportati indietro al caso già considerato, che è stato trovato in contraddizione con il principio fondamentale. Siccome le trasformazioni della seconda suddivisione non possono essere né positive o negative esse non possono esistere affatto; e la prima suddivisione, la cui somma algebrica è zero, deve abbracciare tutte le trasformazioni che si verificano nel processo ciclico. Possiamo quindi scrivere $N=0$ nell'equazione (8), e conseguentemente otteniamo come espressione analitica del Secondo Principio Fondamentale della Teoria Meccanica del Calore per processi reversibili l'equazione

$$N = \int (Q/T) dT = 0''$$

Nel testo sopra riportato è stato evidenziato, con grassetto e sottolineatura, due punti che nel loro insieme portano a concludere che il ragionamento di CLAUSIUS è inaccettabile.

Sintetizzando, si può dire che è vero che **alla fine abbiamo soltanto trasferimenti di calore da temperature inferiori a superiori che non sono compensate in nessun modo**, questa non è la conclusione definitiva perché il ragionamento di CLAUSIUS è incompleto.

Noi possiamo non limitarci ad affermare che **...allora restano le trasformazioni, tutte dello stesso segno, della seconda suddivisione, e non altre qualsiasi**, poiché possiamo ancora una volta completare il ragionamento, considerando anche il “calore locale di compensazione”.

Abbiamo visto, nei capitoli precedenti del presente lavoro, che i trasferimenti di calore da temperature inferiori a superiori possono essere sempre compensati senza far intervenire agenti esterni al sistema termodinamico considerato.

Per fare ciò, basta che le sorgenti coinvolte nei trasferimenti “inversi” di calore non siano isolate termicamente in modo perfetto tra loro.

Questa condizione rientra nella normalità del mondo reale.

Se una certa quantità di calore viene trasferita da un sistema di macchine da un corpo freddo ad uno più caldo in una certa unità di tempo, allora, tramite il fenomeno spontaneo della conduzione di calore, possiamo sempre far tornare tale quantità da sola dal corpo caldo a quello freddo.

È vero che il trasferimento di calore per conduzione non produce lavoro, ma la conduzione di calore non fa scomparire l'energia termica: tutta l'energia che sotto forma di calore fuoriesce dalla riserva più calda, si ritrova integralmente nella riserva più fredda in cui confluisce, sebbene a temperatura inferiore.

D'altra parte, il sistema concepito da CLAUSIUS produrrebbe complessivamente lavoro nullo, e ciò è perfettamente compatibile, dal punto di vista energetico, con una quantità di calore consumato complessivamente nulla, se si introduce il calore locale di compensazione.

Con tale aggiunta, infatti, entrambe le sorgenti sono soggette a scambi di calore nulli.

CLAUSIUS non può concepire questa semplice idea, e pertanto lascia (inconsapevolmente) incompleta la sua dimostrazione.

Completando tale dimostrazione con l'introduzione del calore locale di compensazione, non si giunge più ad una contraddizione con l'assioma.

Di conseguenza, l'assioma di CLAUSIUS diventa di nuovo inutile, al fine del ragionamento che dovrebbe dimostrare che l'integrale di CLAUSIUS è sempre nullo per cicli reversibili.

Per maggiore chiarezza, si può dire che se nella suddivisione del ciclo complesso ideato da CLAUSIUS in tante corde, in cui le riserve di calore sono costituite dai corpi chiamati K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , ..., se qualcuno di tali corpi ricevesse un eccesso di calore estratto

(tramite il fluido) da un altro più freddo, tale eccesso potrebbe sempre essere riportato al medesimo corpo più freddo tramite il calore locale di compensazione, senza violare l'assioma di CLAUSIUS.

La conclusione di questo paragrafo è ancora più drammatica di quelli precedenti: La dimostrazione di CLAUSIUS, che ora abbiamo esaminato, non è condivisibile a prescindere dal suo assioma, o da qualunque altro, per i tutti i motivi descritti in precedenza.

5.63 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che è errato affermare che al giorno d'oggi non c'è più alcuna certezza circa il “Valore Equivalente” di trasformazioni reversibili, e che il c.d. Integrale di CLAUSIUS è sempre di valore nullo per qualunque ciclo reversibile.

5.64 IL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE PER LE TRASFORMAZIONI IRREVERSIBILI

Nei capitoli successivi al IV della raccolta di CLAUSIUS, troviamo le sue memorie nelle quali egli si prodiga ad illustrare le applicazioni del Secondo Teorema Fondamentale, che egli crede di aver dimostrato, a vari esempi concreti di trasformazioni reversibili.

È solo nel Capitolo X che CLAUSIUS affronta l'argomento che aveva lasciato in sospeso: Il Secondo Teorema Fondamentale nel caso di trasformazioni irreversibili.

Ricordiamo che CLAUSIUS aveva già affrontato tale argomento nella memoria del 1854, per cui è importante verificare se, nel corso dei 25 anni trascorsi, egli sia riuscito a rendere condivisibile la parte irreversibile del Secondo Teorema Fondamentale.

I paragrafi successivi del presente libro sono dedicati al confronto delle due versioni della parte irreversibile di tale teorema: quella del 1854 e quella del 1879.

Ricordiamo che a pagina 96 della prima memoria del 1854, si trova il primo ragionamento di CLAUSIUS, il quale, come già visto in precedenza, ha diviso la sua dimostrazione in due Parti:

“Ora procediamo alla considerazione di processi circolari non-reversibili. Nella dimostrazione del precedente teorema, che in qualunque processo reversibile la somma algebrica di tutte le trasformazioni deve essere zero, fu dapprima mostrato che la somma non può essere negativa, e successivamente che essa non può essere positiva, dato che se così fosse, sarebbe solo necessario invertire il processo per ottenere una somma negativa. La prima parte di questa dimostrazione [che la somma non può essere negativa - ndr] resta immutata anche quando il processo è non reversibile; la seconda parte [che la somma non può essere positiva], tuttavia, non può essere applicata in tale caso. Pertanto otteniamo il seguente teorema, che si applica generalmente a tutti i processi circolari, quelli che sono reversibili formando il limite: - La somma algebrica di tutte le trasformazioni che si verificano in un processo circolare può esse solo positiva.”

5.65 CRITICA: RIASSUNTO DEGLI ERRORI CONTENUTI NEL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS DEL 1854 RELATIVO ALLA SUA FAMOSA DISUGUAGLIANZA

Per facilitare il confronto tra la versione del 1854 e quella del 1879 del Secondo teorema per le trasformazioni irreversibili, riassumiamo il nostro precedente ragionamento critico per la memoria di CLAUSIUS del 1854.

Postuliamo che sia vero che per i cicli reversibili la somma algebrica degli Equivalenti debba essere uguale a zero, e sia anche vero che

1° Parte): la somma non può essere negativa;

2° Parte): la somma non può essere positiva.

Seppure conveniamo con CLAUSIUS che per i cicli irreversibili la 2° Parte non è applicabile, allora non possiamo condividere la conclusione da lui tratta nel 1854, che la somma può essere solo positiva.

Ciò è errato, perché se tale somma non può essere negativa, allora essa può essere uguale a zero o positiva.

Pertanto, non possiamo ritenere che nella memoria del 1854 CLAUSIUS sia riuscito a provare la sua disuguaglianza nel caso di cicli irreversibili.

5.66 IL RAGIONAMENTO DI CLAUSIUS DEL 1879 CIRCA LA SUA FAMOSA DISUGUAGLIANZA

Nella Raccolta del 1879, al capitolo X, intitolato “*Sui processi non-reversibili*”, CLAUSIUS tenta di porre rimedio all'errore commesso venticinque anni prima.

Riportiamo il contenuto del Paragrafo X, dove si trova il Paragrafo n.1, avendo presente che, anche nella versione del 1879, CLAUSIUS divide la dimostrazione in due Parti (p. 212):

“Nella dimostrazione del secondo principio fondamentale, e nelle ricerche connesse con esso, è stato sempre assunto che tutte le variazioni siano tali da essere reversibili. Ora dobbiamo considerare quanto i risultati sono profondamente modificati quando le ricerche comprendono processi non reversibili. Tali processi si verificano in forme molto diverse, sebbene nella sostanza essi sono correlati tra loro. Un caso di tal genere è stato già menzionato nel Capitolo I, cioè quello in cui le forze sotto le quali il corpo modifica la sua condizione, come la forza di espansione di un gas, non si combina con una resistenza uguale a se stessa, e quindi non sviluppa l'intera quantità di lavoro che potrebbe sviluppare

*durante la modificazione considerata. Altri casi del genere sono la generazione di calore per attrito e da resistenza dell'aria, ed anche la generazione di calore da parte di una corrente galvanica che vinca la resistenza del filo. **In ultimo rientra in questa classe il passaggio diretto di calore da un corpo freddo ad uno caldo, per conduzione o radiazione.***

*Ora torneremo alla ricerca con la quale è stato provato nel Capitolo IV che in un processo reversibile la somma di tutte le trasformazioni deve essere uguale a zero. Per un tipo di trasformazione, cioè il passaggio di calore tra corpi a diversa temperatura, fu assunto come principio fondamentale che dipende dalla natura del calore, che il passaggio da temperature più basse a più alte, che rappresenta trasformazioni negative, non può verificarsi senza compensazione. Su ciò si è basata la dimostrazione che la somma di tutte le trasformazioni in un processo ciclico non può essere negativa, perché, se ogni trasformazione negativa alla fine permanesse, essa potrebbe essere sempre ridotta al caso del passaggio da temperatura più bassa a più alta. Fu infine mostrato che la somma delle trasformazioni non potrebbe essere positiva, perché allora basterebbe eseguire in ordine inverso il processo, per tramutare la somma in una quantità negativa. **La prima Parte di questa dimostrazione, che mostra che la somma delle trasformazioni non può essere negativa, è ancora valida senza modifica nei casi in cui si verificano trasformazioni non-reversibili nei processi in considerazione.***

Ma l'argomento che mostra che la somma non può essere positiva è ovviamente inapplicabile, se il processo è non-reversibile. In effetti una considerazione diretta della questione [attenzione: motivazione di natura fisica che nella memoria del 1854 non c'era - ndr] mostra che ci sarebbe un eccesso di trasformazioni positive; poiché in molti processi, come la generazione di calore per attrito,

e il passaggio di calore per conduzione da un corpo freddo ad uno caldo, si verifica soltanto una trasformazione positiva, non accompagnata da altro cambiamento. Perciò, al posto del precedente principio, che la somma di tutte le trasformazioni deve essere zero, dobbiamo stabilire il nostro principio come segue, per includere variazioni non-reversibili : —

*La somma algebrica di tutte le trasformazioni che si verificano in un processo ciclico deve essere **sempre positiva**, o al limite uguale a zero.*

Possiamo dare il nome di trasformazioni non compensate a ciò che alla fine di un processo ciclico resta sbilanciato senza nulla che lo controbilanci; e possiamo quindi esprimere il nostro principio più brevemente come segue:

Trasformazioni non compensate devono essere sempre positive.

Per ottenere l'espressione matematica per questo principio esteso dobbiamo solo ricordare che la somma di tutte le trasformazioni in un processo ciclico è data da $\int dQ/T$. Perciò per esprimere il principio generale, dobbiamo scrivere in luogo della equazione V. nel Capitolo III,

$$\int dQ/T \leq 0 \quad (\text{IX})''$$

5.67 CHIARIMENTO

Il riferimento di CLAUSIUS alla equazione V., in realtà non si trova nel Capitolo III, come invece egli afferma. Cercando con attenzione nella citata raccolta delle Memorie, non si trova alcuna equazione denominata (V.).

Dato che nel Capitolo III si tratta di trasformazioni reversibili, è probabile che CLAUSIUS volesse fare riferimento all'equazione n. 15 che si trova a pagina 80: ($\int dQ/T = 0$).

Pertanto, l'espressione: “... *in luogo della equazione V. nel Capitolo III*” deve essere intesa nel senso che: Nel Capitolo III veniva trattata la parte reversibile del secondo Teorema Fondamentale e quindi l'equazione n. 15 recava il segno di uguale (=).

Nel Capitolo X, invece, viene trattata la parte irreversibile del medesimo teorema, e quindi l'integrale (IX) reca il segno di disuguaglianza.

5.68 CRITICA: CONFRONTO DEI RAGIONAMENTI DI CLAUSIUS PER LA PARTE REVERSIBILE E QUELLA IREVERSIBILE DELLA SUA DIMOSTRAZIONE

Il ragionamento di CLAUSIUS per i cicli irreversibili, riportato qui sopra, è di nuovo troppo frettoloso, ma soprattutto contiene contraddizioni rispetto alle considerazioni che egli stesso ha espresso nella prima Parte della dimostrazione, con la quale ha ritenuto di aver dimostrato che l'integrale è sempre uguale a zero per qualunque ciclo reversibile.

Per scoprire queste contraddizioni, è necessario confrontare il ragionamento di CLAUSIUS per il caso di cicli reversibili (1° Parte della dimostrazione), con il caso di cicli irreversibili (2° Parte della sua dimostrazione).

È opportuno dividere la nostra critica in due Sezioni.

Denominiamo con “Prima Sezione” l'esame critico relativo al caso di cicli reversibili (Capitolo IV della Raccolta), e con “Seconda Sezione” l'esame critico relativo al caso di cicli irreversibili (Capitolo X della Raccolta).

Nel seguito le due Sezioni sono riportate una dopo l'altra, con note esplicative tra parentesi quadre per consentire ai lettori maggiore facilità di comprensione. I ragionamenti di CLAUSIUS, infatti, sono

in realtà dimostrazioni per assurdo, ma non è facile coglierne i punti cruciali, come la tesi e l'ipotesi.

5.69 CRITICA: PRIMA SEZIONE - CICLI REVERSIBILI

Iniziamo a riportare la Prima Sezione, relativa all'ipotesi che il Valore-Equivalente di un ciclo **reversibile** sia negativo (Cap. IV, p. 104-105):

“Supponiamo quindi che vengano eseguiti due Processi Ciclici, in uno dei quali la quantità Q_1 è trasferita da K_2 a K_1 , e la quantità Q alla temperatura T sia pertanto generata da lavoro, mentre nel secondo (processo – ndr) la stessa quantità Q è di nuovo trasformata in lavoro, e quindi un'altra quantità di calore trasferita da K'_1 a K'_2 . Questa seconda quantità deve essere esattamente uguale alla data quantità Q'_1 [PERCHE' I CICLI SONO REVERSIBILI], e i due trasferimenti di calore dati sono quindi stati eseguiti all'indietro. Quando con operazioni di questo tipo tutte le trasformazioni della prima suddivisione [COPPIE DI VALORI UGUALI MA SEGNI OPPOSTI] sono state eseguite all'indietro, allora restano le trasformazioni, tutte dello stesso segno [VALORI DIVERSI DA ZERO – POSITIVI O NEGATIVI], della seconda suddivisione, e non altre qualsiasi. Innanzi tutto, se queste trasformazioni [DELLA SECONDA SUDDIVISIONE] sono negative [QUESTA E' L'IPOTESI DELLA DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO] allora possono essere solo trasformazioni da calore in lavoro e trasferimenti da temperature più basse a temperature più alte [QUINDI, TRASFORMAZIONI NEGATIVE]; e di queste le trasformazioni del primo tipo [DA CALORE IN LAVORO] possono essere rimpiazzate da trasformazioni del secondo tipo [TRASFERIMENTO DI CALORE DA BASSE AD ALTE TEMPERATURE]:

*Infatti [INIZIO DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO] se una quantità di calore Q a temperatura T è trasformata in lavoro, allora non dobbiamo far altro che percorrere in ordine inverso il processo ciclico [REVERSIBILE] descritto nel Paragrafo 2, in cui la quantità di calore Q a temperatura T è generata da lavoro, e allo stesso tempo un'altra quantità di calore Q_1 è trasferita dal corpo K_2 a temperatura T_2 ad un altro corpo K_1 a temperatura T_1 . Conseguentemente la data trasformazione da calore in lavoro è percorsa all'indietro, e rimpiazzata dal trasferimento di calore da K_2 a K_1 . Con l'applicazione di questo metodo, **alla fine abbiamo soltanto trasferimenti di calore da temperature inferiori a superiori che non sono compensate in nessun modo** [L'IPOTESI DI TRASFORMAZIONI NEGATIVE VIOLA L'ASSIOMA]. Poiché ciò contraddice il nostro principio fondamentale, la supposizione che le trasformazioni della seconda suddivisione siano negative [L'IPOTESI] deve essere non corretta.”*

5.70 CRITICA: SECONDA SEZIONE - CICLI IRREVERSIBILI

Per i cicli non-reversibili (Capitolo X, Par. 1, p. 213) troviamo quanto segue:

“La prima Parte di questa dimostrazione, che mostra che la somma delle trasformazioni non può essere negativa, è ancora valida senza modifica nei casi in cui si verificano trasformazioni non-reversibili nei processi in considerazione.”

5.71 CRITICA NUMERO UNO SULLA SECONDA SEZIONE

CLAUSIUS non fornisce nessuna dimostrazione di quest'ultima proposizione, ma non è difficile constatare che essa **non può essere vera**. CLAUSIUS, infatti, non si accorge che la predetta

affermazione è in contraddizione con il suo precedente ragionamento relativo ai cicli reversibili.

Ricordiamo che a pagina 96 della sua memoria del 1854, CLAUSIUS aveva scritto la medesima proposizione ed è stato lo stesso TRUESDALL a evidenziare questa contraddizione in questa memoria (*Tragicomical History*, p. 333).

Se il ciclo è non-reversibile, facendolo svolgere in senso inverso esso non potrà più seguire il medesimo percorso di prima; tutti i parametri termodinamici diventeranno diversi e quindi l'affermazione: “*alla fine abbiamo soltanto trasferimenti di calore da temperature inferiori a superiori che non sono compensate in nessun modo*” dovrebbe essere provata, ma CLAUSIUS non ne fornisce alcuna prova.

Questo è uno dei motivi che rendono non condivisibile la dimostrazione data da CLAUSIUS della sua famosa “disuguaglianza” per i cicli irreversibili; motivo (si noti) che è indipendente, ancora una volta, dalla validità del suo assioma.

Ma vi è di più.

5.72 CRITICA NUMERO DUE SULLA SECONDA SEZIONE

C'è un ulteriore motivo per dichiarare non valida la disuguaglianza di CLAUSIUS.

Nella seconda Parte della sua dimostrazione, CLAUSIUS interrompe il suo ragionamento, ritenendo che:

“*Ma l'argomento che mostra che la somma non può essere positiva è ovviamente inapplicabile, se il processo è non-reversibile.*”

Questa volta, a differenza di quanto scrisse nella memoria del 1854, CLAUSIUS fornisce una spiegazione per questa presunta inapplicabilità.

È molto importante, per l'esame critico che stiamo facendo, che CLAUSIUS abbia spiegato perché ritiene inapplicabile la seconda Parte della dimostrazione relativa ai cicli reversibili quando essi diventano irreversibili.

Come abbiamo visto, CLAUSIUS afferma che non si può più affermare che la somma non può essere positiva, dato che se il processo è irreversibile:

“... ci potrebbe essere un eccesso di trasformazioni positive; poiché in molti processi, come la generazione di calore per attrito, e il passaggio di calore per conduzione da un corpo freddo ad uno caldo, si verifica soltanto una trasformazione positiva, non accompagnata da altro cambiamento.” (p. 213).

Innanzitutto, questa è un argomento di natura fisica che, secondo una corretta Logica, non può essere usato per dimostrare un problema di natura fisica che è già stato trasformato in teorema matematico.

Secondo una corretta Logica, quindi, CLAUSIUS non avrebbe dovuto interrompere ancora una volta il ragionamento, ma dimostrare, in modo costruttivo, che l'equivalente non può essere positivo.

CLAUSIUS dichiara, in sostanza, che la seconda parte della dimostrazione, relativa ai cicli reversibili, non può essere applicata ai cicli non-reversibili usando l'argomento fisico che esprime il seguente concetto:

Se per i cicli irreversibili il Valore-Equivalente è in prevalenza positivo, non si può ipotizzare che non sia positivo.

Nel merito, invece, secondo la Logica da lui stesso precedentemente usata per i cicli reversibili, la presunta non applicabilità della seconda parte ai cicli non-reversibili non implica che i valori-equivalenti siano solo positivi (come CLAUSIUS ritiene), ma

(secondo la nostra correzione) consente che siano anche di valore nullo.

5.73 CRITICA NUMEROTRE PER LA SECONDA SEZIONE

Ai precedenti argomenti, con i quali abbiamo dimostrato che la seconda Sezione di cui sopra non è condivisibile, si può aggiungere il seguente.

Per l'ennesima volta, CLAUSIUS invoca l'assurdità che gli è cara:

Si verificherebbe un trasferimento di calore da un corpo freddo ad uno caldo “*senza alcuna compensazione*”.

In precedenza, tuttavia, abbiamo avuto modo più volte di osservare che il trasferimento di calore da un corpo freddo ad uno più caldo può essere compensato con il passaggio della stessa quantità di calore dal corpo caldo a quello più freddo, tramite il fenomeno della conduzione spontanea di calore; ciò che abbiamo denominato “calore locale di compensazione”.

Pertanto, la dimostrazione di CLAUSIUS relativa alla Seconda Sezione è incompleta per tale motivazione.

In conclusione, abbiamo trovato non una, ma tre motivazioni che fanno ritenere non-condivisibile la dimostrazione di CLAUSIUS della parte irreversibile del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica, indipendentemente dalla verità dell'assioma.

CAPITOLO 6

LA VERSIONE ENTROPICA DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA

6.1 IL DEFINITIVO FALLIMENTO DEL PRORAMMA DI CLAUSIUS

Le nostre analisi delle memorie di CLAUSIUS del 1854, 1865 e 1879, portano a concludere che le sue dimostrazioni, relative al

Valore-Equivalente dei cicli reversibili, non sono condivisibili a prescindere dalla verità del suo assioma.

Queste conclusioni sono tragiche per la Fisica, ma c'è ancora una possibilità per salvare la sostanza delle argomentazioni di CLAUSIUS: verificare se sia condivisibile l'ultima versione che CLAUSIUS è riuscito a dare della versione entropica del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica, ovvero quella riportata nella Raccolta delle sue opere pubblicata nel 1879 (nove anni prima della sua morte).

CLAUSIUS ebbe l'occasione di annunciare la versione Entropica del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica già nel 1854, allorché egli ritenne che fosse possibile definire il concetto di “Equivalente delle trasformazioni” reversibili, ed anche dimostrare che la sommatoria degli Equivalenti è sempre nulla per qualunque processo ciclico reversibile.

Quest'ultimo concetto implica, come è evidente per qualunque fisico, l'esistenza di una funzione di stato.

Tuttavia, come fa notare TRUESDELL, CLAUSIUS lascia trascorrere gli anni tra il 1854 e il 1865 prima di accorgersi che il concetto di Valore-Equivalente delle Trasformazioni implicherebbe l'esistenza di quella funzione di stato da lui chiamata Entropia - “*The Mechanical Theory of Heat*”, 1867, p. 357, versione in Inglese, rintracciabile presso il seguente indirizzo web:

<https://books.google.it/books?id=8LIEAAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false>

L'ultima versione della versione entropica del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica dovuta a CLAUSIUS è riportata nella già citata Raccolta delle sue memorie (“*The Mechanical Theory of Heat*”, 1879, Macmillan and Co.).

Quest'opera può essere consultata gratuitamente al già citato link, da #page/n109:

<https://archive.org/stream/cu31924101120883#page/n109/mode/2up>
fino a #page/n127.

Sfortunatamente, CLAUSIUS non introduce in questa sua ultima opera una nuova versione entropica del Secondo Teorema della Termodinamica, ma riprende la trattazione della funzione Entropia dalla sua precedente memoria del 1865, riportandola senza apportare alcuna modifica ai suoi ragionamenti. A pagina 107 infatti si legge:

“In un'altra memoria [Pogg. Ann. Vol. cxxv, p. 890], dopo l'introduzione di un ulteriore sviluppo dell'equivalenza delle trasformazioni, l'autore propose di denominare tale quantità, con la parola Greca “ τροπή ”, Trasformazioni, l'Entropia del corpo. La spiegazione completa di questo nome e la prova che esso esprime correttamente le condizioni della quantità in considerazione, può invero essere data in un momento successivo, dopo che lo sviluppo appena menzionato sia stato trattato; ma per motivo di convenienza useremo il nome di cui sopra. Se denotiamo l'Entropia del corpo con S possiamo scrivere $dQ/\tau = dS$ oppure $dQ = \tau dS$.”

Quindi, le motivazioni, già esposte in precedenza, che rendono non condivisibile la versione entropica del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica di CLAUSIUS, restano valide anche per quanto riguarda il suo ultimo intervento sul tema.

6.2 CONCLUSIONI SULL'IMPOSTAZIONE DEL SECONDO TEOREMA FONDAMENTALE DELLA TERMODINAMICA DOVUTA A CLAUSIUS

L'impostazione del Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica proposta da CLAUSIUS esce sconfitta dalla nostra analisi critica.

Le ragioni del fallimento del programma di CLAUSIUS sono numerose è chiare.

Esiste, innanzi tutto, un problema di omogeneità e di coerenza nell'uso dell'assioma: Non si può invocare un assioma che si riferisce alle macchine termiche (in cui tutte le trasformazioni sono coordinate tra loro), per dimostrare teoremi relativi alle proprietà delle trasformazioni Naturali (prive di coordinamenti interni).

Le dimostrazioni del teorema di CARNOT dovute a KELVIN e a CLAUSIUS non sono condivisibile per la varie ragioni esposte nei capitoli precedenti.

I concetti di Trasformazione Equivalente; Valore-Equivalente, Entropia e principio di aumento dell'Entropia, che CLAUSIUS ha derivato dal teorema di CARNOT, diventano a loro volta automaticamente privi di significato (cedendo il primo, tutti gli altri cadono in blocco).

I teoremi relativi a tali funzioni sono stati sviluppati prendendo in considerazione soltanto macchine cicliche, con l'esclusione delle macchine termiche statiche, nelle quali non vi è alcuna sostanza particolare in azione.

Inoltre, il procedimento di dedurre il corollario di un precedente teorema mediante l'applicazione del medesimo assioma usato per la dimostrazione del teorema stesso non è logicamente corretto.

A ciò si aggiunga che, nel dimostrare il teorema di CARNOT e dei suoi corollari, CLAUSIUS ha introdotto una serie di errori di Logica.

L'insieme di tutte queste considerazioni, priva di qualunque significato fisico l'intera teoria relativa al Secondo Teorema Fondamentale della Termodinamica dovuta a CLAUSIUS.

6.3 DIGRESSIONE SU “THE BERLIN SCHOOL OF

THERMODYNAMICS” E SUL PROCESSO DI REVISIONE PARITARIA DI QUEL PERIODO DI TEMPO

Mi sembra interessante, a questo punto, fare un inciso per capire quale influenza possa aver esercitato, sulla Comunità Scientifica della seconda metà dell'800 (e anche oltre), il fatto che CLAUSIUS fosse addirittura il fondatore, insieme al mitico “Cancelliere della Fisica”, Hermann von Helmholtz (1821-1894), di una istituzione universitaria denominata “*The Berlin School of Thermodynamics*”.

Werner Ebeling e Dieter Hoffman sono gli autori della memoria “*The Berlin School of Thermodynamics founded by Helmholtz and CLAUSIUS*”, [Eur. J. Phys. 12 (1991) 1-9. Printed in the UK].

[http://thermophysics.ru/pdf doc/Berlin_School.pdf](http://thermophysics.ru/pdf_doc/Berlin_School.pdf)

Secondo questi autori, la storia della termodinamica è strettamente connessa a The Berlin School of Thermodynamics, di cui fecero parte, tra gli altri, Krönig, Kirchhoff, Planck, Nernst, Carathéodory, Einstein, Warburg, Debye, Schottky, Schrödinger, Szilard e vonNeumann.

Tra l'altro, come già detto, la prima memoria del 1850 di CLAUSIUS sul tema, ed anche la seconda del 1854, furono pubblicate dalla rivista scientifica *Annalen der Physik und Chemie*, più nota come Poggendorff's *Annalen*, di cui il già citato Johan Christian Poggendorff era capo-redattore.

Inoltre, come risulta dall'albero genealogico della rivista (p. 3 della citata memoria di EBELING e HOFFMAN), POGGENDORFF era uno dei tre massimi esponenti di quegli scienziati dell'Università di Berlino, da cui sarebbe nata, grazie a Heinrich Gustav Magnus, proprio The Berlin School of Thermodynamics.

Come ho già avuto modo di affermare, ritengo che la prima memoria del 1850 di CLAUSIUS, ed anche la seconda del 1854, qualora all'epoca fossero stati adottati i moderni criteri di selezione dei lavori

scientifici (Revisione Paritaria), non sarebbero state pubblicate da nessuna rivista qualificata.

Ma secondo quanto affermano EBELING e HOFFMAN (fine p. 2), a poter decidere quali lavori potevano essere pubblicati sulla rivista Poggendorff's Annalen era soltanto il già citato POGGENDORFF: Un farmacista di Amburgo, poi diventato professore di fisica.

D'altra parte, verso la seconda metà dell'800 la valutazione della validità scientifica dei lavori ricevuti con richiesta di pubblicazione era condizionata da molti fattori. Secondo Ray Spier, autore della memoria "*The History of the Peer-Review Process*" (Trends in Biotechnology, Vol.20, N.8, August 2002) rintracciabile in rete, in quel periodo di tempo c'era più spazio sulle riviste scientifiche che articoli da pubblicare, e quindi il compito primario degli assistenti degli editori era quello di trovare articoli e recensioni per riempire le pagine delle riviste.

Fu solo dopo il 1890, quando la macchina da scrivere divenne disponibile, che replicare fino a cinque copie divenne possibile al fine di sottoporre una memoria a più di un revisore.

Fu solo l'aumentata complessità dei lavori, a costringere gli Editori a ricercare revisori oltre il gruppo dei più informati esperti che potevano essere trovati all'interno della società di sponsorizzazione, ma questo accadde, secondo SPIER, in tempi diversi a seconda dell'editore; "Science", ad esempio, iniziò a ricercare revisori esterni dopo il 1940,

Sono questi, forse, i motivi per cui i lavori di KELVIN e CLAUSIUS furono pubblicati dalle riviste scientifiche di quel tempo, nonostante contenessero le illogicità sopra evidenziate, contribuendo a far diventare la teoria dinamica del calore di CLAUSIUS condivisa dalla maggior parte della Comunità Scientifica di quel tempo.

CAPITOLO 7

LA VERSIONE MODERNA DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

7.1 PREMESSA

Giunti a questo punto, sono sicuro che molti di Voi, lettori del futuro, avrete la speranza che ciò che vi è di essenziale nella teoria del Secondo Principio della Termodinamica sviluppata da CLAUSIUS sia stato in qualche modo salvato, grazie all'intervento di qualche altro scienziato teorico.

Tale speranza è oramai riposta nell'eventualità che i successori dei Padri Fondatori siano riusciti a correggere gli errori di KELVIN e CLAUSIUS che qui sono stati posti in evidenza.

Tuttavia, come presto vedremo, se consultiamo un qualunque moderno libro di testo di termodinamica classica, non troveremo risolta nessuna delle incongruenze e alle irrazionalità sopra evidenziate.

L'unica spiegazione che riesco a darmi per giustificare questo dato di fatto, è che la maggior parte degli esponenti della Comunità Scientifica preferiscano restare nel “solco dominante” del pensiero scientifico (il c.d. “Pensiero Dominante”) riguardante la versione classica del Secondo Principio della Termodinamica.

7.2 DIGRESSIONE SUL “PENSIERO DOMINANTE” DOVUTO AI PIU' CELEBRI SCIENZIATI

7.2-A) JAMES CLERK MAXWELL

Tra i più illustri forgiatori del pensiero scientifico dominante, circa la versione classica del Secondo Principio della Termodinamica, dobbiamo annoverare James Clerk Maxwell (1831–1879), matematico e fisico scozzese, contemporaneo di CLAUSIUS, il

quale si occupò anche della teoria del calore. Le sue riflessioni, al riguardo, sono contenute nel volume:

“*Theory of Heat*”, London: Longmans, Green, & Co, 1872, rintracciabile al seguente link:

<https://archive.org/details/theoryofheat00maxwrich/page/n7>

MAXWELL è autore, tra l'altro, della memoria n. XCI intitolata “*Tait's “Thermodynamics (Review)”*”, riportata in “*The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell 1846-1862*”, Vol. Secondo – Dover Publications Inc., Prima Ed. postuma di quella pubblicata da Cambridge University Press, 1890.

I due Volumi, uniti in una unica pubblicazione, sono rintracciabili al seguente link:

<https://archive.org/details/scientificpapers01maxw/page/n5>

oppure:

<https://strangebeautiful.com/other-text/maxwell-scientificpapers-vol-ii-dover.pdf>

A pagina 669 del secondo Volume di quest'ultima memoria (*Tait's Thermodynamics*), troviamo quanto segue:

“É probabilmente impossibile ridurre la seconda legge della termodinamica ad una forma così assiomatica come quella della prima legge, poiché abbiamo motivo di credere che sebbene vera, la sua verità non è dello stesso ordine di quella della prima legge. La prima legge è una estensione alla teoria del calore del principio della conservazione dell'energia, che si può dimostrare matematicamente vera se i corpi reali consistono di materia su cui "per definizione" agiscono forze aventi un potenziale. La seconda legge si riferisce a quel tipo di comunicazione dell'energia che noi chiamiamo trasferimento di calore distinto da altra forma di comunicazione dell'energia che chiamiamo lavoro. Secondo la

teoria molecolare la sola differenza tra questi due tipi di comunicazione dell'energia è che i moti e gli spostamenti che sono coinvolti nella comunicazione del lavoro sono quelli delle molecole e sono così numerosi, così piccoli individualmente, e così irregolari nella loro distribuzione che sfuggono completamente a tutti i nostri metodi di osservazione; mentre quando il moto e gli spostamenti sono quelli di corpi visibili consistenti in un gran numero di molecole che si muovono insieme, la comunicazione di energia viene chiamata lavoro. Quindi dobbiamo solo supporre i nostri sensi aguzzati ad un tale grado da poter tracciare il moto delle molecole così facilmente come noi tracciamo quelli dei corpi grandi, e la distinzione tra lavoro e calore sparirebbe, dato che la comunicazione di calore verrebbe vista come una comunicazione di energia dello stesso tipo di quella che noi chiamiamo lavoro. La seconda legge deve essere fondata o sulla nostra effettiva esperienza con i corpi reali di grandezza sensibile, o altrimenti dedotta dalla teoria molecolare dei corpi, nell'ipotesi che il comportamento dei corpi consistenti in milioni di molecole possa essere dedotto dalla teoria delle collisioni di coppie di molecole, supponendo le frequenze relative di differenti tipi di collisioni distribuite secondo la legge delle probabilità. La verità della seconda legge è quindi statistica, non matematica, dato che essa dipende dal fatto che i corpi con cui abbiamo a che fare consistono in milioni di molecole, e che noi non possiamo mai maneggiare singole molecole.”

Ecco che compaiono, contemporaneamente, due nuovi aspetti relativamente al Secondo Principio della Termodinamica. Il primo, è la versione statistica del Principio, mentre il secondo - una sua inevitabile conseguenza - è l'intrinseca debolezza del Principio stesso.

Nella versione di MAXWELL del 1878, il Secondo Principio della Termodinamica è inviolabile non perché tale inviolabilità sia stata

dimostrata matematicamente, ma perché “... non possiamo maneggiare singole molecole”.

7.2-B) WILHELM OSTWALD

Friedrich Wilhelm Ostwald (1853–1930) è un altro grande protagonista di questa storia.

OSTWALD fu un chimico Tedesco di chiara fama, vincitore del Premio Nobel per la chimica nel 1909. Nel 1910, l'Editore Félix Alcan pubblica in lingua Francese (tradotto dal Tedesco) il volume di OSTWALD intitolato “*L'énergie*”.

Tale pubblicazione si può scaricare integralmente al seguente link:

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k654909/f1.image.textelimage>

A pagina 148–149 di questo libro di OSTWALD troviamo quanto segue:

*“Se il principio di Carnot non fosse giusto, e fosse possibile costruire due macchine termiche **perfette** aventi rendimenti diversi, si potrebbe accoppiare queste due macchine in modo tale che una quantità di calore qualunque sarebbe trasportata dalla temperatura inferiore alla temperatura superiore, ed ottenere anche una quantità di lavoro grande a piacere. Questo lavoro non sarebbe creato “ex nihilo”; esso comporterebbe il consumo di un corrispondente calore. Ma questo calore potrebbe essere prelevato dall'ambiente in quantità qualsiasi, poiché la nostra coppia di macchine trasporta il calore a volontà da una temperatura inferiore ad una superiore senza alcuna spesa. Noi avremmo dunque una macchina che, senza contraddire il primo principio, contraddirebbe il secondo, e che avrebbe assolutamente il valore pratico di una macchina in grado di produrre il moto perpetuo. Essa non otterrebbe, è vero, il lavoro dal nulla, ma otterrebbe un calore senza valore, che si rinnoverebbe senza sosta in seguito al consumo del lavoro ottenuto. L'esperienza mostra che una macchina produttrice il moto perpetuo di tal tipo è*

ugualmente impossibile. Ad una tale macchina si dà il nome di macchina di seconda specie a moto perpetuo poiché essa contraddice il secondo principio e per distinguerla da una macchina che contraddica il primo principio, che è denominata macchina di prima specie. Dicendo che una macchina di seconda specie è impossibile, si esprime dunque ciò che vi è di essenziale nel secondo principio.”

7.2-C) MAX PLANCK

Prima ancora di OSTWALD, era intervenuto sull'argomento il celebre fisico Tedesco Karl Ernst Ludwig Planck (1858–1947), vincitore del Premio Nobel per la fisica nel 1918. Egli interviene sul Secondo Principio della Termodinamica con il suo “*Treatise on Thermodynamics*”, Longmans, Green, and Co, London, 1903.

Qui consideriamo la versione tradotta in Inglese, Ed. Dover Publications, Inc., quinta edizione del 1917, rintracciabile al seguente link:

<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.154233>

A Pagina 89 del Capitolo Secondo (*Proof*), PLANCK scrive:

“Essendo il secondo principio fondamentale della termodinamica, come il primo, una legge empirica, possiamo parlare della sua dimostrazione solo fino al punto in cui il suo significato complessivo può essere dedotto da una sola proposizione auto-evidente. Noi, pertanto, avanziamo la seguente proposizione come data direttamente dall'esperienza: “È impossibile costruire una macchina che lavori in un ciclo completo, e non produca altro effetto salvo il sollevamento di un peso e il raffreddamento di una riserva di calore”. Una tale macchina potrebbe essere usata simultaneamente come motore e refrigeratore senza alcuno spreco di energia o materiale, e potrebbe in ogni caso essere la macchina più efficiente mai costruita. Essa, è vero, non è equivalente al moto

perpetuo, dato che non produce lavoro dal nulla, ma dal calore, che essa estrae dalla riserva. Non potrebbe, quindi, come il moto perpetuo, contraddire il principio di energia, ma fornirebbe, in ogni modo, al genere umano il vantaggio essenziale del moto perpetuo, fornire lavoro senza costo; dato che l'inesauribile fornitura di calore nella terra, nell'atmosfera, e nel mare, potrebbe, come l'ossigeno nell'atmosfera, essere disponibile immediatamente a chiunque. Per questa ragione prendiamo la suddetta proposizione come nostro punto di partenza. Dato che stiamo per dedurre la seconda legge da esso, ci aspettiamo, allo stesso tempo, di realizzare la più utile applicazione di ogni fenomeno naturale che si scopra si discosti da esso. Non appena si scopra un fenomeno che contraddica una legittima conclusione della seconda legge, tale contraddizione deve sorgere da una inesattezza della nostra prima assunzione, e il fenomeno potrebbe essere usato per costruire la macchina di cui sopra. Nel seguito, in accordo con la proposta di Ostwald, parleremo di moto perpetuo di seconda specie, poiché esso sta nei confronti della seconda legge come il moto perpetuo sta nei confronti della prima legge. In connessione con tutte le obiezioni alla seconda legge, deve essere tenuto in mente che, se non si trovano errori nella linea di prova, esse sono dirette in definitiva contro l'impossibilità del moto perpetuo di seconda specie (§ 136).*

** NOTA: (Il punto di partenza da me scelto per provare la seconda legge coincide fundamentalmente con quello usato per lo stesso scopo da R. CLAUSIUS, o da Sir W. Thomson, o da J. Clerk Maxwell. La proposizione fondamentale che ognuno di questi ricercatori ha posto all'inizio delle sue deduzioni asserisce ogni volta, solo in forme diverse, l'impossibilità della realizzazione del moto perpetuo di seconda specie. Io ho selezionato la predetta forma di espressione, per il suo evidente significato tecnico. Non una singola prova realmente razionale della seconda legge è stata*

finora proposta che non richieda questo principio fondamentale, nonostante che numerosi tentativi in questa direzione ci possano essere stati in tempi recenti, non credo che si potrà trovare un tentativo di successo di questo genere.)”.

Come si vede, PLANCK si era spinto più avanti, rispetto a MAXWELL, nell'affermare che il Secondo Principio della Termodinamica non è dimostrabile matematicamente, ma può essere soltanto espressione di quel particolare assioma, identico, nel significato profondo, a quelli espressi dai Padri Fondatori:

“L'impossibilità della realizzazione di un moto perpetuo di seconda specie.”

L'impossibilità di realizzare una macchina capace di sfruttare completamente il calore.

Sebbene PLANCK minimizzi, enfatizzando il valore “tecnico” del suo assioma, nondimeno egli apporta una sostanziale modifica all'assioma di CLAUSIUS. Abbiamo infatti visto, poche righe sopra, che l'assioma di PLANCK è:

“È impossibile costruire una macchina che lavori in un ciclo completo, e non produca altro effetto salvo il sollevamento di un peso e il raffreddamento di una riserva di calore”.

L'assioma di CLAUSIUS, invece, non fa riferimento ad alcun ciclo, per cui avrebbe valenza generale e potrebbe essere valido anche per macchine statiche.

PLANCK non spiega perché abbia introdotto la forte restrizione all'assioma limitandolo ai sistemi ciclici.

Nonostante tutto, dato l'alto livello di considerazione che la Comunità Scientifica ha attribuito a PLANCK per gli altri suoi lavori scientifici, l'assioma da lui volutamente espresso per enfatizzarne il significato “tecnico” è stato adottato in sostituzione di quello di CLAUSIUS.

Per di più, l'assioma di PLANCK è stato poi combinato con quello di KELVIN, per formare l'assioma Kelvin-Planck, il quale è espresso nei termini seguenti: *“È impossibile costruire una macchina tale che, funzionando in un ciclo, produca altro effetto che l'estrazione di calore da una riserva e la produzione di un valore equivalente di lavoro.”*.

Come si vede, MAXWELL e PLANCK, pur dalla loro posizione di grandi scienziati, elaborano e modificano i primordiali concetti introdotti dai Padri Fondatori travisandone i primitivi significati.

Questo conferma che il pensiero dei Padri Fondatori non può essere compreso con la lettura di esposizioni dovute ad altri, ma solo con quella delle loro opere originali.

Abbiamo già osservato che KELVIN pretende che il suo assioma sia valido per i fenomeni naturali, sebbene esso sia stato concepito, e poi utilizzato, per affermare l'impossibilità di costruire una certa macchina termica.

Anche PLANCK si allinea a questa linea di pensiero. La citata proposizione di PLANCK:

“Dato che stiamo per dedurre la seconda legge da esso (dall'assioma - ndr), ci aspettiamo, allo stesso tempo, di realizzare la più utile applicazione di ogni fenomeno naturale che si scopra si discosti dalla seconda legge.”,

deriva proprio dalla pretesa, errata in linea di principio, di estendere ai fenomeni naturali un limite tecnologico che, per sua stessa definizione, vale solo per le macchine termiche.

Il testo di PLANCK rende ancora più evidente tale erroneità di principio, dato che egli ha imposto al suo assioma il limite di essere valido solo per sistemi ciclici, ovvero, macchine, per cui è illogico attendersi che possa esistere un *“fenomeno naturale che si discosti*

dalla seconda legge”, dal momento che non si è mai osservato alcun fenomeno naturale che si ripeta ciclicamente.

Assemblando nel giusto ordine i concetti sopra riportati espressi da PLANCK, ci si rende conto che in sostanza egli intende significare quanto segue:

Se si scoprisse un fenomeno naturale che, lavorando in un ciclo completo, non producesse altro effetto salvo il sollevamento di un peso e il raffreddamento di una riserva di calore, lo si potrebbe sfruttare per costruire il moto perpetuo di seconda specie.

PLANCK sembra non rendersi conto che un fenomeno naturale che esegua cicli non può fisicamente esistere in Natura, e quindi egli esprime essenzialmente la seguente tautologia: Egli si augura la scoperta di un fenomeno naturale (che non può esistere, in quanto l'assioma richiede che sia ciclico) in contrasto con l'assioma, per poterlo utilizzare per la costruzione di una macchina a moto perpetuo di seconda specie (la quale, però, è già vietata dal medesimo assioma).

PLANCK non si rende conto che non è necessario scoprire nessun fenomeno naturale per concepire una macchina a moto perpetuo di seconda specie - servirebbe, invece, l'individuazione di due macchine termiche con diverso rendimento tra le stesse temperature di funzionamento: cosa che egli ritiene impossibile perché vietata dal teorema di CARNOT.

Il chiaro ragionamento di PLANCK, pur nella sua totale irrazionalità, è utilissimo per evidenziare il carattere tautologico di tutti i discorsi attualmente condivisi sul Secondo Principio.

Per concludere questo paragrafo su PLANCK, osserviamo che ciò che maggiormente sconcerta nel suo lavoro, è il fatto che egli sembra non rendersi conto che l'idea di assumere come assioma

l'impossibilità di costruire un moto perpetuo di seconda specie è in assoluto contrasto con il Metodo Scientifico.

In primo luogo, infatti, il Metodo Scientifico si applica ai fenomeni naturali, mentre l'impossibilità di costruire una certa macchina non può costituire una proprietà della natura in relazione ai fenomeni termici, essendo questa una attività che solo l'Uomo può svolgere.

Inoltre, secondo il Metodo Scientifico, un assioma è una verità provvisoria e gli scienziati sono sempre in attesa di qualche esperimento inedito che “neghi” tale verità.

Se quindi noi assumiamo come verità che un certo evento non si può verificare, allo stesso tempo eliminiamo il carattere provvisorio di tale assunzione, e ciò equivale ad elevare l'assioma a verità indiscutibile, contraddicendo, per l'appunto, il Metodo Scientifico.

7.3 CONTENUTI DEI MODERNI LIBRI DI TESTO DI TERMODINAMICA CLASSICA

Il sistema più semplice e sicuro per verificare se gli errori commessi dai dai Padri Fondatori della teoria classica del Secondo Principio della termodinamica siano stati corretti, è quello di esaminare i contenuti dei moderni testi universitari di termodinamica classica.

Sono trascorsi quasi centocinquanta anni dal 1879, anno in cui fu pubblicata la raccolta delle memorie di CLAUSIUS.

Se in questo intervallo di tempo la Comunità Scientifica avesse condiviso qualche importante modifica alla versione di CLAUSIUS del Secondo Principio della Termodinamica, sicuramente essa sarebbe riportata nei testi universitari di termodinamica classica.

Gli autori di tali testi sono in genere valenti fisici, i quali potrebbero, in teoria, nutrire dubbi sull'impostazione del Secondo Principio della Termodinamica dovuta a CLAUSIUS, ma essi non potrebbero mai esprimerli nei loro libri di testo, per motivi facilmente immaginabili,

dovendo limitarsi ad esporre la posizione della Comunità Scientifica sul tema.

Deve essere quindi chiaro che le osservazioni critiche che andremo a formulare sui contenuti dei testi universitari, non devono essere intese come rivolte agli autori di tali testi, ma più in generale a tutta la Comunità Scientifica.

Per semplificare la lettura dei successivi capitoli conveniamo quanto segue:

- 1) La parola “Autore”, con l'iniziale maiuscola, sta per “autore di testo universitario di termodinamica classica”;
- 2) La parola “Testo” con l'iniziale maiuscola, sta per “testo universitario di termodinamica classica”;
- 3) L'espressione “Secondo i Testi” deve essere intesa come “Secondo la Comunità Scientifica del nostro tempo”.

Prendiamo quindi in esame alcuni moderni Testi, nella parte in cui viene introdotto il Secondo Principio della Termodinamica.

I Testi più dettagliati, presentano il Secondo Principio della Termodinamica solo dopo aver introdotto una serie di concetti preparatori, secondo una sequenza organizzata con una logica ben precisa, come ad esempio la seguente:

- 1) Prima Legge della Termodinamica;
- 2) Flusso quasi-statico di calore;
- 3) Definizione di Riserva di calore;
- 4) Radiazione di corpo nero;
- 5) Gas ideale;
- 6) Teoria cinetica dei gas;
- 7) Definizione di rendimento per le macchine termiche;

- 9) Il radiatore come componente indispensabile per le macchine termiche;
- 10) Descrizione di varie tipologie di macchine termiche cicliche reali, quali macchina a vapore, ciclo Otto, ciclo Diesel, ciclo di Stirling e ciclo di Ericsson;
- 11) Assioma Kelvin-Planck del Secondo Principio della Termodinamica;
- 12) Enunciato di Clausius del Secondo Principio della Termodinamica;
- 13) Dimostrazioni dell'equivalenza dell'enunciato Kelvin-Planck e dell'enunciato di Clausius del Secondo Principio della Termodinamica;
- 14) Definizione del concetto di processo reversibile;
- 15) **Definizione del concetto di processo irreversibile;**
- 16) Esempi di processi irreversibili;
- 17) Ciclo di Carnot;
- 18) Macchina di Carnot;
- 19) **Teorema di Carnot e suoi corollari;**
- 20) Parte “reversibile” del Secondo Principio della Termodinamica;
- 21) Entropia;
- 22) Entropia e reversibilità – Integrale di Clausius;
- 23) Parte “irreversibile” del Secondo Principio della Termodinamica;
- 24) Entropia e irreversibilità – Disuguaglianza di Clausius;
- 25) Principio di (aumento della) entropia.

Noi esamineremo e commenteremo soltanto i passi più rilevanti della predetta sequenza, la quale non si svolge secondo la predetta

sequenza solo per motivazioni esclusivamente scientifiche, ma anche per motivi psicologici finalizzati a preparare lo studente ad accettare concetti contraddittori.

Notiamo, a tale proposito, che gli Autori mantengono l'impostazione di KELVIN rispetto al concetto di “trasformazione irreversibile”, nel senso che tale concetto viene introdotto **ben prima di qualunque teorema**, essendo, secondo tale impostazione, una conseguenza dell'assioma.

Questo aspetto è molto importante ai fini del nostro ragionamento critico.

7.4 IL RADIATORE DI CALORE COME COMPONENTE INDISPENSABILE DI QUALSIASI MACCHINA TERMICA

Iniziamo il nostro esame critico dei contenuti dei Testi, osservando che essi sono stati scritti per studenti, ovvero individui che devono soltanto imparare ciò che viene loro proposto, non già discuterlo.

Poiché i Testi provengono dall'Autorità preposta all'insegnamento, i loro contenuti influenzeranno profondamente gli studenti per il resto della loro vita.

Solo alcuni studenti saranno in grado di discutere ciò che essi hanno appreso, ma non subito, perché altrimenti sarebbero bocciati; lo potranno fare solo dopo aver conseguito la Laurea, se e quando diventeranno ricercatori.

Ma anche allora, questi particolari Laureati dovranno essere molto cauti e stare molto attenti a ciò che vogliono discutere, perché ci sono “argomenti-tabù”, discutendo i quali si corre il rischio di rovinarsi la carriera – il Secondo Principio della Termodinamica è uno di questi.

Se dunque uno studente, prima ancora di affrontare il capitolo dedicato al Secondo Principio della Termodinamica, trova un

precedente capitolo in cui si afferma che il radiatore è un componente indispensabile per il funzionamento di una qualsiasi macchina termica, impara un concetto che lo porterà ad accettare acriticamente tutto ciò che nel resto del Testo riguarderà il Secondo Principio della Termodinamica.

Infatti, nei Testi migliori, dal punto di vista didattico, prima ancora di introdurre il Secondo Principio della termodinamica, si trova di solito un capitolo dedicato alla descrizione delle macchine termiche di uso pratico, e viene fatto notare che esse funzionano in modo ciclico.

Questo tipo di funzionamento rende indispensabile l'uso del radiatore, il quale è un dispositivo che “deve dissipare” una certa quantità di calore verso un ambiente freddo o, più precisamente, verso l'ambiente più freddo che si trova nei paraggi.

Viene quindi inculcato nella mente degli studenti il seguente concetto fondamentale: per ottenere energia meccanica dal calore non è sufficiente che vi siano almeno due sorgenti di calore a temperature diverse, ma è anche necessario che la più fredda di esse riceva una certa quantità di calore destinata ad essere dispersa nell'ambiente circostante, restando quindi perduta per l'Uomo.

Gli Autori iniziano subito ad evidenziare che comprendere il principio funzionamento delle macchine termiche aiuta a comprendere la principale differenza che separa la Prima Legge della Termodinamica dalla Seconda Legge della Termodinamica.

Come si è visto, la Prima Legge della Termodinamica stabilisce l'“Equivalenza” tra calore e lavoro meccanico, per cui il lavoro meccanico si potrebbe convertire interamente in calore e, viceversa, il calore si potrebbe convertire interamente in lavoro meccanico, ma

la Seconda Legge della Termodinamica interviene ad impedire questo secondo tipo di conversione completa.

Tale “Legge” consente che il calore si possa convertire in lavoro meccanico, ma non “completamente” - una parte del calore dovrà essere e restare inutilizzata, anche se non sarà annichilata.

È questa la prima contraddizione che gli studenti stanno incontrando che dovrebbe sorprenderli: la Seconda Legge contraddice la Prima Legge. Sembra logico che essi dovrebbero porsi la seguente domanda: se esiste una Prima Legge secondo la quale calore e lavoro meccanico sono mutuamente ed interamente trasformabili l'uno nell'altro, come può essere che vi sia una Seconda Legge che impedisce che la trasformazione sia completa se essa avviene in una certa direzione ?

Ma seppure qualche studente si ponesse tale quesito, non potrebbe di certo indugiarsi sopra, essendo invece prevalente la necessità di superare l'esame di fisica.

D'altra parte, gli studenti trovano nei Testi una giustificazione per tale anomalia, la quale viene data mettendo a confronto le due considerazioni seguenti.

Viene dapprima richiamato il fenomeno dell'attrito – fenomeno che avviene quando due corpi in contatto tra loro si muovono l'uno rispetto all'altro. Ciò che accade nei freni di una autovettura è un esempio di attrito.

L'attrito determina la dissipazione di lavoro meccanico, e gli Autori evidenziano che esso è in grado di convertire in calore questo lavoro con un rendimento del 100%.

Viene anche evidenziato l'importante dato di fatto che tale processo può proseguire senza alcun limite di tempo.

Successivamente, si fa notare che il processo opposto (la conversione di calore in lavoro meccanico) si può realizzare

impiegando il fenomeno naturale dell'espansione di un gas, con la differenza, rispetto all'attrito, che l'espansione non può andare avanti senza limiti di tempo.

Quindi, secondo gli Autori, per convertire in continuazione calore in lavoro tramite l'espansione di un gas, bisogna innanzi tutto racchiudere il gas stesso in un ambiente ermetico, poi far variare in modo ciclico tale volume, ed infine sincronizzare tali variazioni con gli scambi di calore tra gas e sorgenti di calore.

In sostanza, per convertire in continuazione calore in lavoro, secondo gli Autori, bisogna far eseguire al gas un circuito chiuso, chiamato “ciclo termodinamico”.

Gli Autori fanno notare che qualunque ciclo termodinamico necessita di almeno due sorgenti di calore, una ad alta temperatura e un'altra a bassa temperatura.

Per far funzionare il ciclo come motore termico, si deve fare in modo che la fase di espansione converta in lavoro il calore estratto dalla sorgente ad alta temperatura, mentre nella seguente fase di compressione una parte del lavoro deve essere convertita di nuovo in calore e ceduta alla sorgente a temperatura inferiore.

Il ciclo termodinamico che funziona come motore, cede alla sorgente a temperatura inferiore una quantità di calore minore rispetto a quello che esso estrae dalla sorgente a temperatura più alta.

La differenza tra queste due quantità di calore corrisponde esattamente al lavoro utile prodotto, nel perfetto rispetto della Prima Legge della Termodinamica.

È con argomenti di questo genere, prima ancora di esporre qualsiasi teorema, che gli Autori iniziano ad instillare nella mente degli studenti uno dei concetti fondamentali connessi a quel Secondo Principio della Termodinamica che ancora non è stato loro

presentato: Se si vuole ottenere energia utilizzando il calore, allora una parte di esso dovrà essere ceduta alla sorgente più fredda, e tale parte non sarà mai più utilizzabile.

Resta quindi difficile, per qualunque studente, rendersi conto che questo modo di introdurre il Secondo Principio della Termodinamica è illogico: mentre, secondo una consolidata prassi, è la teoria che deve condizionare la pratica, per la Seconda Legge della Termodinamica è la pratica (la necessaria presenza del radiatore per far funzionare le macchine cicliche) che condiziona l'impostazione e lo sviluppo della teoria.

7.5 CRITICA: LA LIMITAZIONE DELLA TEORIA ALLE SOLE MACCHINE CICLICHE

C'è anche un altro aspetto fuorviante nel modo utilizzato dagli Autori di introdurre il Secondo Principio della Termodinamica, ed è il seguente: Mentre KELVIN, nella sua memoria del 1851, ha preso in considerazione macchine termiche non cicliche o statiche, nei Testi tale aspetto non è trattato nella fase di introduzione del Secondo Principio della Termodinamica.

Come abbiamo visto, nei Testi vengono presi in considerazione soltanto quei cicli termodinamici usati in pratica per convertire calore in lavoro.

Il motivo per cui ritengo sia fuorviante concentrare tutta l'attenzione sulle macchine che funzionano ciclicamente, e ignorare la macchine statiche, sta nel fatto che qualsiasi macchina ciclica “deve” avere una fase di compressione, durante la quale una certa quantità di calore deve essere rilasciata alla sorgente più fredda – mentre le macchine statiche non hanno alcuna fase di compressione, per cui, almeno in linea di principio, potrebbero non rilasciare mai calore alla sorgente fredda durante il loro funzionamento.

Poiché gli Autori non hanno ancora introdotto il teorema di CARNOT, si ha l'impressione che essi abbiano eliminato ogni riferimento alle macchine termiche statiche per evitare le difficoltà che si incontrerebbero nel dimostrare tale teorema considerando tali tipi di macchine e, allo stesso tempo, usufruire dei vantaggi che si ottengono considerando esclusivamente macchine cicliche.

In Appendice A è riportato un capitolo dedicato a questo aspetto.

7.6 LA PREMATURA LIMITAZIONE DEL MASSIMO RENDIMENTO POSSIBILE

In genere, quando in un Testo si arriva questo punto, si trovano argomenti che sembrano concepiti per perfezionare l'operazione di condizionamento mentale del lettore.

Viene infatti completato il prematuro annuncio (già citato in precedenza) relativo alla frazione di calore che deve essere ceduto alla sorgente più fredda, anticipando un concetto che non è stato ancora dimostrato: la frazione di calore ceduta alla sorgente più fredda, pur non essendo annichilata, è diventata inutilizzabile.

Prima ancora di esporre qualunque teorema, viene anticipato al lettore il concetto che una macchina termica potrebbe avere il 100% di efficienza solo se fosse possibile annullare la quantità di calore ceduto alla sorgente più fredda.

Segue, in genere, l'avviso che nel seguito si troverà una vera dimostrazione del fatto che uno spreco di calore è inevitabile in una macchina termica, per cui viene preannunciato l'importante concetto che il rendimento di qualsiasi macchina termica sarà sempre minore del 100%.

7.7 L'ENUNCIATO KELVIN-PLANCK DELLA SECONDA LEGGE DELLA TERMODINAMICA

Uno dei modi per introdurre il Secondo Principio della Termodinamica più utilizzato dagli Autori, è quello di affermare che *nessuno è mai riuscito a costruire una macchina capace di convertire completamente in lavoro il calore estratto da una riserva, senza rigettare calore verso una riserva a temperatura inferiore.*

Gli autori poi riportano vari enunciati formali della seconda legge, come l'assioma di KELVIN e quello di PLANCK.

L'assioma maggiormente utilizzato dagli Autori è quello ottenuto dalla combinazione dei due assiomi citati, ovvero la versione Kelvin-Planck dell'assioma, che è la seguente:

È impossibile costruire una macchina che, lavorando in un ciclo, produca nessun altro effetto diverso dall'estrazione di calore da una riserva e la produzione di una equivalente quantità di lavoro.”

Questa proposizione vuole significare, in sostanza, che l'ipotetica macchina sarebbe capace di assorbire il calore da una sola sorgente di calore, convertire interamente questo calore in lavoro senza però produrre alcun altro cambiamento.

Molti Testi aggiungono che se la Seconda Legge non fosse vera, sarebbe possibile spingere una nave attraverso l'oceano estraendo calore dall'oceano stesso.

7.8 CRITICA: IL RICHIAMO ALLA DELETERIA NOTA* DI KELVIN

Abbiamo visto che KELVIN enuncia il suo assioma nella seconda memoria del 1851, ma aggiunge la Nota* a fine pagina per “dimostrare” la verità del suo assioma.

Si è osservato che ciò è contrario al Metodo Scientifico, poiché gli assiomi sono concetti non dimostrabili, ovvero veri per definizione.

Se ora ricordiamo la Nota *

(Se questo “assioma” non fosse valido per tutte le temperature, si dovrebbe ammettere che una macchina autonoma potrebbe essere messa in funzione e produrre effetto meccanico tramite il raffreddamento del mare o della terra, senza nessun limite salvo quello della totale fuoriuscita di calore dalla terra e dal mare, o, in realtà, dall'intero mondo materiale)

e la confrontiamo con la proposizione che in genere si trova nei Testi:

(Se la seconda legge non fosse vera, sarebbe possibile spingere una nave attraverso l'oceano estraendo calore dall'oceano stesso)

ci rendiamo conto che esse esprimono sostanzialmente lo stesso concetto.

Sono trascorsi più di centosessanta anni dalla seconda memoria di KELVIN, senza che la Comunità Scientifica abbia trovato il sistema di evitare quello che, con i progressi della Matematica, si è trasformato in un errore per il ragionamento di KELVIN: l'uso errato della dimostrazione per assurdo.

La specifica dimostrazione per assurdo usata da KELVIN è stata priva di senso fisico fin dall'inizio per le ragioni già specificate, ma a partire dai primi del '900 quella particolare dimostrazione è diventata (se possibile) ancor più priva di senso a seguito dei progressi conseguiti in logica-matematica.

La dimostrazione per assurdo può essere utilizzata solo se l'ipotesi comporta una assurdità o una contraddizione.

Nella Nota*, al contrario, l'ipotetica estrazione di calore dal mare per far funzionare una macchina autonoma non comporterebbe alcuna assurdità, per le ragioni spiegate in precedenza.

Né, d'altra parte, potrebbe mai essere considerato assurdo il concetto di “*navigazione senza spesa*”, dal momento che da millenni l'Uomo naviga senza spesa con le navi a vela.

7.9 CRITICA: L'ARGOMENTO CHE NESSUNO AVREBBE MAI COSTRUITO UN MOTO PERPETUO DI SECONDA SPECIE

Dal punto di vista logico-matematico, non ha senso derivare una assurdità da un dato di fatto contingente: Nessuno ha mai costruito una certa macchina.

Ci si potrebbe chiedere perché gli Autori ripetano sostanzialmente il concetto espresso originariamente da KELVIN nella deleteria Nota*, ma noi abbiamo già risposto a questo quesito: essi lo “devono” fare, per essere coerenti con il comune sentire della Comunità Scientifica, la quale sembra non avere consapevolezza degli errori introdotti dai Padri Fondatori della teoria termodinamica classica, e si è quindi adagiata sulla loro versione del Secondo Principio della Termodinamica.

Le pubblicazioni di TRUESDELL, già citate in precedenza, nelle quali molti errori dei Padri Fondatori sono evidenziati, sono state pubblicate in anni recenti (1969, 1970, 1980), ma evidentemente la Comunità Scientifica non le ha ancora condivise e assimilate, pur provenendo da un loro qualificato esponente.

È questa forse la ragione per cui gli Autori restano nel solco principale (il cosiddetto “Pensiero Dominante”) tracciato prima di loro da Scienziati di grande levatura, come ad esempio MAXWELL, PLANCK e OSTWALD.

Seguendo le orme di questi famosi scienziati, gli Autori continuano ad affermare che una macchina capace di convertire il calore estratto da una sorgente calda senza rilasciare calore a una sorgente fredda non è mai stata costruita.

Quando la teoria del Calorico era vigente, l'ipotetica macchina capace di generare energia dal nulla veniva denominata macchina moto perpetuo “tout-court”.

In seguito, l'ipotetica macchina termica capace di violare l'assioma di PLANCK, ma non il principio di conservazione dell'energia, è stata chiamata da OSTWALD “moto perpetuo di seconda specie” per distinguerla dal primigenio moto perpetuo, chiamato con il nuovo nome di “moto perpetuo di prima specie”.

In effetti, esperimenti per costruire una macchina a moto perpetuo furono tentati in gran numero (vedi in *The Engineer* [journal], March 27th 1959, p. 492 la memoria: “*Air Engines*”, by T. Finkelstein, Ph.D., D.I.C., B.Sc., A.M.I. Mech.E., N.I, March 27, 1959), però essi erano destinati a sicuro fallimento per i seguenti motivi:

- 1) I tentativi di costruire il moto perpetuo tout-court, non potevano avere successo perché avrebbero violato il saldo principio di conservazione dell'energia;
- 2) I progetti di moto perpetuo di seconda specie successivi al 1879, non potevano essere effettuati da veri scienziati, dato che la Scienza aveva abbracciato la teoria dinamica del calore ideata da CLAUSIUS, che “vietava” l'esistenza di tale tipologia di macchina;
- 3) Tali progetti furono quindi tentati da sprovveduti inventori;
- 4) La tecnologia del settore termodinamico era agli esordi nella seconda metà dell'800.

Per avere un'idea di quale fosse il livello tecnologico in questo settore verso il 1854 (anno in cui CLAUSIUS formalizzò il Secondo Principio), basta dare soltanto un'occhiata allo schema del motore compatto inventato dall'ingegnere John Ericsson (1803-1889) nel 1860.

Notare che il rigeneratore di calore è indicato con il numero 7 nella Figura.

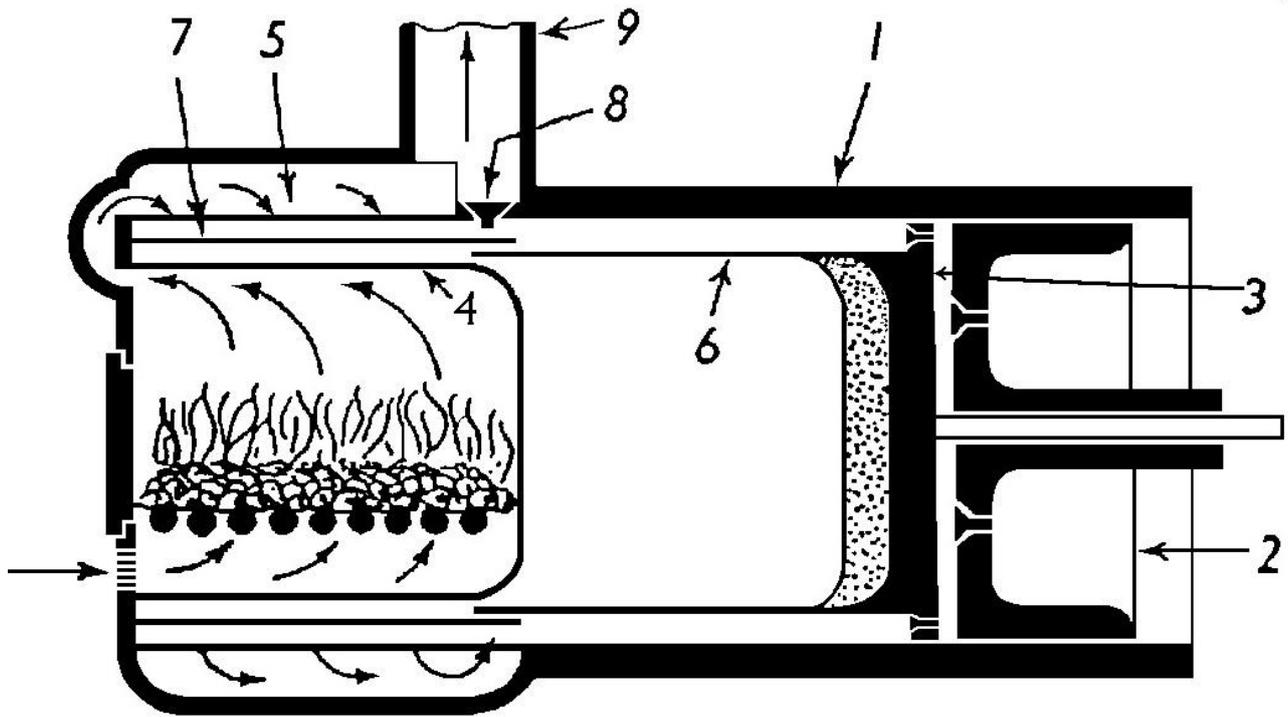


Fig. 7.1

Di contro, per avere una idea di quale sia il livello tecnologico di ingegneria al giorno d'oggi, basta considerare che nel già lontano 2006, Vincenzo Balzani, Miguel Clemente-Léon e Alberto Credi hanno pubblicato su *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, n.5, 31 gennaio 2006, pp. 1178-1183, l'articolo intitolato “*Autonomous artificial nanomotor powered by sunlight*”.

Il motore, sviluppato nell'Università di Bologna dai predetti ricercatori, è in grado di girare a 60000 giri al minuto azionato dalla luce, ed è composto da una molecola lunga circa 6 nm (nanometri), pari a 6 milionesimi di millimetro.

Sia ben chiaro che detto motore non viola il Secondo Principio della Termodinamica, ma è solo un esempio di tecnologia moderna.

Giunti a questo punto, sarebbe necessario porsi due domande.

La prima è chiedersi se l'affermazione degli Autori, secondo i quali nessuno ha mai costruita una macchina a moto perpetuo di seconda specie fosse corretta al momento della pubblicazione dei loro Testi.

La seconda domanda è chiedersi se la predetta affermazione di tali Autori sia ancora giustificata al giorno d'oggi, o se nel frattempo sia stata contraddetta da qualche esperimento, sia pure non considerato dalla Comunità Scientifica.

Ma di tali questioni ci occuperemo nel seguito, essendo prioritario continuare l'analisi dei Testi, per verificare se quegli errori introdotti dai Padri Fondatori nella teoria dinamica del calore, che abbiamo precedentemente posto in evidenza, siano stati corretti.

7.10 LE VARIE MODIFICAZIONI APPORTATE ALL'ASSIOMA DI CLAUSIUS

Gli Autori continuano di solito ad avallare quell'idea, introdotta dai Padri Fondatori, che esista una relazione tra l'assioma, il quale è relativo esclusivamente a macchine termiche, e la tendenza del calore a fluire dal caldo al freddo - fenomeno ritenuto irreversibile perché non può invertirsi da solo.

Gli Autori tentano di giustificare la verità di tale proto-assioma di CLAUSIUS affermando, sostanzialmente, che il trasferimento di calore da un corpo freddo ad uno più caldo non può avvenire da solo, ma che tale processo richiede l'impiego di lavoro meccanico oppure l'intervento di qualche “agente” esterno.

Quindi, la versione dell'assioma che viene presentata in qualche Testo è sostanzialmente uguale a quella che CLAUSIUS ha espresso nella memoria del 1850.

Ricordiamo, infatti, che nella sua prima memoria, CLAUSIUS esprimeva il suo proto-assioma includendolo nella confusa proposizione (Philosophical Magazine, 1851, p.103):

“... Pertanto ripetendo entrambi questi processi alternanti, senza spendere alcuna forza o altro cambiamento, qualunque quantità di calore potrebbe essere trasmessa da un corpo freddo ad uno caldo;

e ciò contraddice il generale comportamento del calore, che dovunque esibisce la tendenza ad annullare differenze di temperatura e quindi a passare da un corpi più caldi a uno più freddo.”

Una versione molto comune dell'assioma, che alcuni Autori attribuiscono a CLAUSIUS, è la seguente:

“É impossibile costruire un refrigeratore che, operando in un ciclo, non produrrà nessun effetto diverso dal trasferimento di calore da una riserva a bassa temperatura ad una riserva a temperatura maggiore.”

È anche molto facile trovare la seguente variante:

“É impossibile costruire una macchina che, operando in un ciclo, non produca nessun effetto diverso dalla estrazione di calore da una sorgente e la produzione di una equivalente quantità di lavoro.”

Tali versioni dell'assioma sono in realtà ottenute modificando la seconda versione originale di CLAUSIUS (1854), la quale, tratta dal Philosophical Magazine, 1856 P. 86, è la seguente:

“Il calore non può passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.”

Altri Autori riportano correttamente questo testo originale del 1854, ma non quello finale del 1879.

Fu infatti lo stesso CLAUSIUS ad eliminare dall'assioma il riferimento al tempo, con la versione pubblicata nel 1879 (*The Mechanical Theory of Heat*, 1879, Cap. III, p. 78, e Cap. XIII, p. 341):

“Il passaggio di calore da un corpo freddo ad uno più caldo non può avvenire senza compensazione.”

Come è evidente, le versioni di CLAUSIUS e quelle riportate nei Testi non hanno tutte il medesimo significato.

7.11 CONSIDERAZIONI SULLE DIMOSTRAZIONI DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI

Ricordiamo che l'equivalenza dei vari assiomi del Secondo Principio della Termodinamica è stata affermata fin dai primi tentativi di impostare la teoria dinamica del calore.

Fu lo stesso KELVIN ad affermare che il suo assioma è equivalente a quello ideato da CLAUSIUS. Nella sua memoria del 1851 KELVIN infatti scrive (p. 181):

“Quello che segue è l'assioma sul quale è fondata la dimostrazione di CLAUSIUS: [È impossibile per una macchina autosufficiente, non aiutata da nessun agente esterno, convogliare calore da un corpo ad un altro corpo a temperatura superiore].

È facile mostrare che sebbene questo e l'assioma che ho usato siano differenti nella forma, l'uno è conseguenza dell'altro. Il ragionamento in ciascuna dimostrazione è strettamente analogo a quello che diede originariamente CARNOT”.

Quasi tutti i Testi più qualificati riportano “dimostrazioni” dell'equivalenza di due assiomi: assioma di CLAUSIUS e assioma Kelvin-Planck.

Tali dimostrazioni utilizzano la simbologia impiegata negli studi di Logica, tuttavia non sembra che esse siano universalmente condivisibili dal punto di vista “Logico”.

Una maggioranza degli scienziati, costituita essenzialmente da fisici, condivide la verità di tali dimostrazioni ma sicuramente c'è un'altra parte che non la può condividere.

7.12 SULLA PRESUNTA DIMOSTRAZIONE

DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – PRIMA MODALITA'

La dimostrazione dell'equivalenza dei due citati enunciati viene in genere ottenuta in due diversi modi.

La prima modalità è basata sulla (presunta) verità delle due proposizioni positive seguenti:

- 1) Se è vero l'assioma Kelvin-Planck (proposizione A), ciò implica la verità dell'assioma di CLAUSIUS (proposizione B).
- 2) Se è vero l'assioma di CLAUSIUS (proposizione B), ciò implica la verità dell'assioma Kelvin-Planck (proposizione A).

Secondo i Testi, l'insieme di queste due proposizioni positive determinerebbe l'equivalenza dei due enunciati.

7.13 CRITICA: L'INEFFICACIA DELLA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – PRIMA MODALITA'

Ora dimostriamo che la prima modalità di cui sopra non è condivisibile.

Per semplificare, riduciamo ai minimi termini le due proposizioni, come segue:

- 1) La proposizione A implica la proposizione B;
- 2) La proposizione B implica la proposizione A.

Il ragionamento riportato nei Testi vorrebbe dimostrare che queste due verità determinano l'equivalenza della proposizione A e della proposizione B.

Per dimostrare che tale conclusione è errata, ragioniamo come segue:

Se è vero che la proposizione A implica la proposizione B, non è escluso che la proposizione A implichi anche la proposizione qualunque C.

Se è anche vero che la proposizione B implica la proposizione A, non è escluso che la proposizione B implichi anche la proposizione C, in quanto essa è una qualunque.

Pertanto, se dalle due implicazioni traessimo la conclusione che la proposizione A equivale alla proposizione B, dovremmo anche ammettere che entrambe le proposizioni, A e B, equivalgono anche ad una terza proposizione qualunque C.

Ma la proposizione C, potendo essendo qualunque, potrebbe essere la seguente: “la proposizione A non è equivalente alla proposizione B”, e allora cosa potremmo in definitiva inferire circa l'equivalenza di A e B ?

Osserviamo che non c'è contraddizione tra “la proposizione A non è equivalente alla proposizione B” e “la proposizione A implica la proposizione B”, perché in Logica il concetto di “implicazione” e quello di “equivalenza” hanno due distinti significati; è questo il motivo che potrebbe essere invocato da quella parte minoritaria della Comunità Scientifica che non condivide la suddetta equivalenza.

7.14 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che la precedente critica dell'autore è errata.

7.15 SULLA PRESUNTA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – SECONDA MODALITA'

Quasi tutti gli Autori presentano anche una seconda modalità di dimostrare l'equivalenza dei due assiomi, la quale è basata sulle due seguenti proposizioni negative.

1) Se non è vero l'assioma Kelvin-Planck (proposizione A), allora non è vero dell'assioma di CLAUSIUS (proposizione B).

2) Se non è vero l'assioma di CLAUSIUS (proposizione B), allora non è vero l'assioma Kelvin-Planck (proposizione A).

Secondo gli Autori, l'insieme di queste due proposizioni negative determinerebbe l'equivalenza dei due enunciati.

7.16 CRITICA: L'INEFFICACIA DELLA DIMOSTRAZIONE DELL'EQUIVALENZA DEGLI ASSIOMI – SECONDA MODALITA'

Riduciamo ai minimi termini le due proposizioni, come segue:

1) Se è falsa la proposizione A, ciò implica che è falsa la proposizione B;

2) Se è falsa la proposizione B, ciò implica che è falsa la proposizione A.

Secondo gli autori di Testi, l'insieme delle due proposizioni implica che la proposizione A equivale alla proposizione B.

Osserviamo, tuttavia, che l'insieme delle due proposizioni comprende quattro negazioni e nessuna affermazione. Pertanto, secondo il criterio dei Matematici Intuizionisti, queste due proposizioni non sono idonee a dimostrare l'affermazione che A equivalga a B.

Per verificare che tale equivalenza non è dimostrata, ragioniamo come segue.

Se è vero che “se è falsa la proposizione A, è anche falsa la proposizione B”, allora non si può escludere che la falsità della proposizione A implichi anche la falsità della proposizione qualunque C.

Inoltre, se è vero che “se è falsa la proposizione B è anche falsa la proposizione A”, allora non si può escludere che la falsità della proposizione B implichi anche la falsità della proposizione qualunque C.

Pertanto, se dall'insieme delle due implicazioni traessimo la conclusione che la proposizione A equivale alla proposizione B, dovremmo anche ammettere che entrambe le proposizioni, A e B, equivalgono anche ad una terza proposizione qualunque C.

Ma poiché la proposizione C è di qualunque tipo, essa potrebbe essere la seguente:

“La proposizione A **non è** equivalente alla proposizione B.”

D'altra parte, poiché la proposizione C di cui sopra è “falsa”, la nostra conclusione deve essere:

“La proposizione A **è** equivalente alla proposizione B.”

Lo stesso ragionamento si può ripetere assumendo che la proposizione C sia la seguente:

“La proposizione A **è** equivalente alla proposizione B.”

Essendo la proposizione C sempre “falsa”, dobbiamo concludere, al contrario del caso precedente, che:

“La proposizione A **non è** equivalente alla proposizione B.”

Poiché le due nostre conclusioni sono diametralmente opposte, dobbiamo concludere che il ragionamento presentato dagli Autori non dimostra l'equivalenza di A e B, come è anche logico, tenendo presente che, in Logica, il concetto di “implicazione” non coincide con quello di “equivalenza”.

7.17 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che il ragionamento dell'autore è errato.

7.18 LA PREMATURA DEFINIZIONE DI PROCESSI REVERSIBILI E IRREVERSIBILI

Proseguendo nell'esame dei contenuti della maggior parte dei Testi, troviamo tre importanti definizioni di uso comune, da parte della odierna Comunità Scientifica, circa le trasformazioni termodinamiche.

Innanzitutto, troviamo la definizione di “intorno locale”, poi quella di “resto dell'universo”, inoltre la moderna definizione di trasformazione termodinamica reversibile e infine quella di trasformazione irreversibile.

Gli “Intorni Locali” sono le riserve di calore e i meccanismi che producono, ovvero ricevono, lavoro meccanico dal processo termodinamico.

Gli intorni locali “possono” interagire direttamente con la trasformazione termodinamica, la quale può anche essere denominata “il Sistema”.

“Il Resto dell'Universo” sarebbe una porzione finita del mondo che comprende il Sistema (la trasformazione termodinamica) e gli “Intorni Locali”, ed è inteso in senso restrittivo, ovvero senza alcun riferimento al Cosmo.

In altre parole, dobbiamo immaginare che il Resto dell'Universo, come esso è inteso dalla Comunità Scientifica, non sia una entità di volume infinito, ma sia un volume chiuso, simile ad una sfera, che contiene il Sistema e gli Intorni Locali, i quali, a loro volta, possono essere immaginati come entità che “possono” interagire con il Sistema (o trasformazione termodinamica).

La terza definizione che troviamo nei Testi è quella di “Processo Reversibile”, che è espressa come segue:

“Un processo è reversibile se, alla sua conclusione, sia il sistema che gli intorni locali possono essere riportati nel loro stato iniziale

tramite un metodo che non ha prodotto alcun cambiamento nel resto dell'universo”.

Se confrontiamo questa definizione con quella analoga, data dai Padri Fondatori della termodinamica, non possiamo non restare colpiti dalla profonda differenza esistente tra esse.

Mentre quella dovuta ai Padri Fondatori è di immediata e semplice comprensione, quella riportata nei Testi appare alquanto cervellotica.

Per i padri Fondatori, una trasformazione era reversibile se, facendola avvenire in senso contrario, tutte le grandezze fisiche legate al processo (calore, lavoro, etc.), cambiavano segno algebrico restando uguali in valore assoluto.

È naturale, quindi, chiedersi perché sia stata introdotta la profonda differenza sopra evidenziata. A mio avviso, tutto ciò è accaduto a causa delle continue modificazioni degli originari concetti espressi dai Padri Fondatori, apportate dai vari esponenti della Comunità Scientifica che si sono dedicati al tema in questione.

Per quanto riguarda i processi irreversibili, nei Testi si trova la seguente definizione:

“Un processo è irreversibile se non soddisfa la definizione di reversibilità.”

Ancora una volta, in termodinamica classica la definizione di un fenomeno fisico viene data con una proposizione negativa (o non-costruttiva) che, in quanto tale, non può che sollevare dubbi e perplessità.

Ci si può chiedere quale sia l'origine della citata definizione moderna di processo reversibile e di quello irreversibile.

Per rispondere a questo quesito, mettiamo a confronto queste definizioni con l'assioma:

Processo reversibile:

“Un processo è reversibile se, alla sua conclusione, sia il sistema che gli intorno locali possono essere riportati nel loro stato iniziale tramite un metodo che non ha prodotto alcun cambiamento nel resto dell'universo.”

Processo irreversibile:

“Un processo è irreversibile se non soddisfa la definizione di reversibilità.”

Assiomi:

- CLAUSIUS: “Il calore non può passare da un corpo freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.”

- Kelvin-Planck: “*É impossibile costruire una macchina che, operando in un ciclo, non produca nessun effetto diverso dalla estrazione di calore da una sorgente e la produzione di una equivalente quantità di lavoro.*” .

Questo confronto rende evidente che la definizione di processo irreversibile è un immediato corollario dell'assioma.

È facile spiegare perché sia un errore di Logica derivare immediatamente dall'assioma il concetto di “irreversibilità” di certe trasformazioni naturali.

L'assioma è il primo punto di partenza per fondare una nuova teoria riguardante un certo comportamento del calore, ma bisogna considerare il fatto che l'assioma prescelto impone un limite tecnologico al genere umano.

Se dunque certe trasformazioni naturali vengono definite “irreversibili” come immediata conseguenza di un assioma del genere, si mescolano (illogicamente) tra loro due entità concettuali non omogenee: trasformazioni irreversibili per le capacità della sola

Natura e trasformazioni irreversibili per la capacità tecnologiche del genere umano.

Al giorno d'oggi, è molto grave accettare (con l'accettazione dell'assioma) questa mistione di concetti non omogenei, in quanto le capacità tecnologiche dell'Uomo relative all'assioma sono rimaste quelle della seconda metà dell'800.

Questa commistione ha apportato confusione nella teoria creata sulla base del citato assioma, dato che non è più chiaro quali siano le trasformazioni irreversibili per la sola Natura, e quali siano invece le trasformazioni che il genere umano non può invertire.

Questa distinzione, che doveva essere introdotta, è stata invece fatta immediatamente sparire dalla teoria relativa al Secondo Principio della Termodinamica, dato che tutte le trasformazioni reali (sia naturali che provocate dall'Uomo) sono considerate irreversibili, compresa la conduzione di calore.

Che fosse doveroso introdurre questa distinzione, e anzi necessario, lo possiamo comprendere dalla seguente considerazione riguardante proprio la conduzione di calore.

Non c'è alcun dubbio che la Natura non sia in grado di invertire la conduzione di calore, secondo la definizione di irreversibilità oggi condivisa, ma se esistesse una macchina a moto perpetuo di seconda specie, utilizzando questo tipo di macchina il genere umano potrebbe invertire tale trasformazione senza produrre alcun cambiamento nel resto dell'universo.

C'è quindi un motivo ben preciso per cui nei Testi la definizione di trasformazione reversibile e quella di trasformazione irreversibile vengono presentate prima di introdurre il teorema di CARNOT.

7.19 RIASSUNTO DEI CONCETTI RELATIVI A REVERSIBILIA' E IRREVERSIBILITA' ESPRESSI NEI

TESTI

È opportuno riportare un riassunto (commentato) a medio-termine, circa il percorso logico che viene di solito seguito dagli Autori per introdurre i concetti di reversibilità e irreversibilità attualmente condivisi.

1) Per giustificare la verità dell'assioma Kelvin-Planck, si afferma, senza portare alcuna prova, che siano falliti tutti gli esperimenti per costruire una macchina a moto perpetuo di seconda specie;

2) Vengono presentati assiomi sostanzialmente differenti rispetto a quelli espressi dai Padri Fondatori, come, ad esempio, l'assioma del refrigeratore. Tale ultimo assioma, secondo il quale il refrigeratore funziona in cicli, viene attribuito a CLAUSIUS, ove invece l'assioma originale di CLAUSIUS non prevede alcuna specifica tipologia di macchine;

3) Vengono riportati i consueti ragionamenti di Logica tesi a dimostrare che l'assioma Kelvin-Planck è equivalente a quello di CLAUSIUS. Tuttavia, come si è visto, questi ragionamenti non sono in grado di dimostrare l'equivalenza degli enunciati;

4) L'assioma Kelvin-Planck, una volta giustificato come sopra, consentirebbe di definire reversibile un processo se esso rispetta le “condizioni” imposte dall'assioma stesso. Tuttavia, le perplessità sopra espresse, circa la verità dell'assioma, si trasferiscono automaticamente sulla definizione di trasformazione reversibile;

5) Qualunque processo che non rispetti le citate “condizioni” sarebbe irreversibile. Tuttavia tale definizione lascia ampio margine a dubbi e perplessità, essendo una proposizione negativa e quindi non-costruttiva;

6) Le trasformazioni naturali sono ritenute tutte irreversibili perché la “dissipazione” è presente in ogni processo reale. Tuttavia osserviamo che gli Autori generalmente non forniscono una chiara

definizione di “dissipazione” e del perché essa debba comportare irreversibilità.

7) Alcuni tra i più qualificati Testi riportano esempi di processi Naturali irreversibili, i quali sono ritenuti tali in base al predetto criterio.

7.20 ESEMPI DI PROCESSI NATURALI RITENUTI IRREVERSIBILI

Gli Autori distinguono tre diverse tipologie di “irreversibilità”:

- 1) Irreversibilità di tipo chimico;
- 2) Irreversibilità di tipo meccanico;
- 3) Irreversibilità di tipo termico.

La prima tipologia comprende, evidentemente, la formazione di nuovi composti – tipologia di processo che può implicare sia la cessione che l'assorbimento di energia (di varia natura, come il calore).

La seconda tipologia comprende tutti quei processi che determinano la modifica strutturale di materiali di qualunque genere – processi che quasi sempre sono associati a scambi di calore, come ad esempio l'attrito tra corpi solidi, o anche tra corpi liquidi e/o gassosi in contatto tra loro durante reciproci movimenti, eccetera.

La terza tipologia – la più interessante per gli scopi del presente libro – comprende tutti gli scambi di calore che non avvengono per differenze infinitesime di temperatura. Ad esempio, il passaggio di calore tra un corpo caldo ed un altro corpo più freddo.

Lo stesso scambio di calore è considerato reversibile se (e solo se) la differenza di temperatura di cui sopra è infinitesima.

Notiamo, tuttavia, che l'insieme degli esempi di fenomeni naturali ritenuti irreversibili riportati nei Testi non può costituire la

definizione del sostantivo “dissipazione”, e quindi resta indefinito il collegamento di questo vago concetto con quello di “irreversibilità”. Pertanto, la vacuità del concetto di trasformazione irreversibile, che viene espresso nei Testi con una proposizione negativa, va a sommarsi con la vacuità del concetto di trasformazione “dissipativa”.

Tutti i predetti fenomeni naturali sono ritenuti irreversibili perché la loro inversione spontanea comporterebbe la violazione dell'assioma.

Abbiamo visto, tuttavia, che i vari assiomi relativi al Secondo Principio della Termodinamica esprimono, in sostanza, l'impossibilità di costruire una certa macchina termica.

Tale considerazione rende incomprensibile il motivo per cui questa limitazione di tipo tecnologico che l'Uomo avrebbe, dovrebbe consentire di caratterizzare le proprietà di fenomeni naturali.

Notiamo anche che il concetto che tale elencazione di fenomeni implicitamente trasmette, è che se un ciclo termodinamico contiene uno o più di tali fenomeni naturali esso debba essere irreversibile.

Ma noi vedremo che, in coerenza con le suddette perplessità, tale concetto non vale in senso assoluto.

In conclusione, sui concetti di Reversibilità e Irreversibilità si può ritenere che la Comunità Scientifica condivida la seguente idea:

Se una trasformazione è tale che, allorché invertita **non** è in grado di produrre ciò che l'assioma **vieta**, allora tale trasformazione è reversibile, altrimenti è irreversibile.

Bisogna sempre ricordare, perché ci ritorneremo nel seguito, che queste due definizioni non sono una conseguenza della teoria relativa del Secondo Principio della Termodinamica, ma, al contrario, vengono utilizzate per la **costruzione** di tale teoria, e in tale senso a mio avviso sono “premature”.

Si ritiene, inoltre, che un processo irreversibile possa sempre svolgersi in senso contrario, però tale inversione richiede che qualche forza, o quantità di calore o comunque qualche tipo di energia, affluisca da quella entità denominata “il Resto dell'Universo” senza più poter tornare indietro, cosicché tale entità resta “alterata” per sempre.

7.21 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che le considerazioni dell'autore sono errate.

7.22 LE STRAORDINARIE PROPRIETA' ATTRIBUITE ALLE SORGENTI DI CALORE

Come abbiamo visto nel precedente Paragrafo 4.10, nella sua memoria del 1854 CLAUSIUS ha tentato di correggere la contraddizione che lui aveva introdotto nella memoria del 1850, laddove egli dapprima affermava che i corpi A e B ritornerebbero al loro stato originario, e poi riteneva che “nel complesso si verificherebbe una trasmissione (di calore – ndr) da B ad A.”

La correzione apportata da CLAUSIUS nella memoria del 1854 consiste nel ritenere che i corpi (ora chiamati K, K_1 e K_2) non siano più corpi normali, bensì corpi capaci di mantenere costante la temperatura anche a fronte di forti scambi di calore - le “*sorgenti di calore*”, ovvero corpi immaginari fisicamente inesistenti.

Questo concetto è stato rafforzato dai suoi successori.

Le sorgenti, o riserve di calore, secondo i concetti condivisi dalla Comunità Scientifica, fanno parte di una categoria di corpi molto particolare e fantasiosa.

Nella comune visione, una sorgente di calore è costituita da un corpo di grande massa, capace di scambiare qualunque quantità di calore

senza che le sue coordinate termodinamiche subiscano cambiamenti di rilievo.

In realtà, si ammette che una sorgente di calore subisca qualche modificazione durante gli scambi di calore, ma essi sono ritenuti piccoli e insignificanti, tali cioè da non provocare fenomeni “dissipativi”.

Secondo gli Autori, inoltre, i cambiamenti che avvengono in modo reversibile in una riserva sarebbero indistinguibili da quelli che avvengono quando la medesima riserva scambia la medesima quantità di calore in modo irreversibile.

Ricordando le argomentazioni di CLAUSIUS sulle riserve di calore, ci rendiamo conto che la definizione di una riserva di calore che si trova nei Testi è identica a quella originariamente ideata da CLAUSIUS.

Abbiamo anche visto che tale definizione è all'origine di uno degli errori introdotti da CLAUSIUS nella dimostrazione del teorema di CARNOT.

L'importante proprietà attribuita alle sorgenti di calore, relativa ai minuscoli cambiamenti, è talmente singolare da rendere tali corpi completamente estranei al mondo reale.

Per rendercene conto, ragioniamo come segue partendo da una riserva di calore consistente in un corpo di piccola massa.

Mentre una tale riserva di calore subisce un determinato trasferimento di calore, i suoi parametri termodinamici subiscono certi cambiamenti.

Allora possiamo pensare di mantenere fissa la quantità di calore scambiata, raddoppiando però la massa della riserva.

In questo caso, i parametri della riserva varieranno ancora, ma in misura minore rispetto a prima. Poi ripetiamo lo stesso passaggio di

calore raddoppiando ancora la massa della sorgente, poi ripetiamo ancora con massa raddoppiata, e così via.

In generale, i parametri termodinamici della riserva varieranno ogni volta, ma in misura inferiore man mano che facciamo aumentare la massa, ma c'è una grandezza che non si comporta in tal modo: la funzione data dal rapporto Q/T , tra calore Q scambiato dalla sorgente e la temperatura T della stessa sorgente alla quale tale scambio avviene.

A questa funzione CLAUSIUS ha assegnato il nome di “entropia”.

Nel caso iniziale (con piccola massa), il rapporto tra Q e T non è facile da calcolare, perché la temperatura della riserva cambia durante lo scambio di calore.

Con il metodo di integrazione, però, è possibile calcolare il valore efficace della temperatura della riserva durante lo scambio di calore, che possiamo chiamare T_{eff1} .

Nel caso iniziale (con massa piccola), quel rapporto avrà il valore Q/T_{eff1} .

Nel secondo caso (con massa doppia) la quantità Q resta la stessa, perché è quella che vogliamo trasferire, ma la temperatura efficace, che ora chiamiamo T_{eff2} , è maggiore di T_{eff1} , perché la massa è raddoppiata.

Man mano che consideriamo masse maggiori, troveremo che la tendenza della temperatura efficace della riserva sarà quella di crescere costantemente, avvicinandosi sempre più al valore iniziale T .

Al limite, per una massa infinitamente grande, la temperatura efficace finale sarà identica a T e il rapporto tra calore e temperatura tenderà a diminuire verso il valore-limite Q/T .

Se una riserva di calore alla temperatura T , come quella intesa dai Testi, scambia la quantità di calore Q , il parametro chiamato “entropia” della riserva non resta costante ma cambia della quantità Q/T .

Dobbiamo concludere che aumentare oltre ogni limite la massa di una riserva di calore non serve a garantire l'invarianza di tutti i suoi parametri e funzioni termodinamiche.

D'altra parte, gli Autori ammettono che l'entropia di una riserva di calore cambia durante gli scambi di calore, senza che ciò corrisponda ad un cambiamento di stato della medesima riserva.

È opinione comune, infatti, che nessuno dei tre parametri fondamentali (pressione, temperatura e volume) che solitamente caratterizzano lo “stato” di un corpo, cambi mai per una riserva.

Quindi, a mio avviso, il concetto di riserva di calore non è un concetto-limite, ma è un concetto non-fisico relativo ad una entità fisica inesistente.

7.23 IL CONCETTO ATTUALMENTE CONDIVISO DI MACCHINA DI CARNOT

Proseguendo nell'esame dei Testi, si trova, in genere, un capitolo dedicato al ciclo di CARNOT, dove viene descritta un'altra entità ideale: La macchina di CARNOT.

Secondo il punto di vista comunemente accettato, qualunque macchina termica che assorbe calore in modo reversibile da una sorgente calda, e restituisce calore in modo reversibile ad una sorgente più fredda è una macchina di CARNOT.

Quindi, il ciclo di CARNOT che abbiamo descritto in precedenza non è che uno dei possibili cicli termodinamici con i quali si può concepire una macchina di CARNOT.

Come si è già visto in precedenza, l'opinione comune è che una macchina termica assorbe una certa quantità di calore dalla riserva a temperatura maggiore, e “deve” rigettare una minore quantità di calore verso una riserva a temperatura inferiore.

Se la macchina è reversibile, la differenza tra queste due quantità di calore è esattamente uguale al lavoro prodotto dalla macchina, e ciò accade perché una macchina reversibile non ha “perdite di energia” **al suo interno**.

L'esatta uguaglianza di queste due forme di energia consente agli Autori di affermare che la macchina reversibile è la “macchina perfetta”.

È proprio “l'assenza di perdite **interne** di energia”, che fa condividere alla Comunità Scientifica la definizione, originariamente data da KELVIN, di “macchina termodinamica perfetta” per il ciclo di CARNOT.

In realtà, sarebbe più giusto riservare la definizione di “macchina termodinamica perfetta” (M.T.P.) a quel motore, ritenuto impossibile, che sarebbe in grado di trasformare interamente in lavoro il calore estratto da una sola di quelle “**due**” sorgenti che **sono sempre necessarie affinché il calore possa fluire**.

7.24 DEFINIZIONE DI REFRIGERATORE DI CARNOT

Il percorso logico ideato dagli Autori di Testi per introdurre il Secondo Principio della Termodinamica prevede un ulteriore passo intermedio, nel quale viene descritto il Refrigeratore di CARNOT, ossia una macchina di CARNOT fatta funzionare in senso inverso.

La Figura 7.2 seguente mostra il confronto dello schema di funzionamento della macchina di CARNOT (M_c sulla sinistra) e quello del refrigeratore di CARNOT (R_c sulla destra).

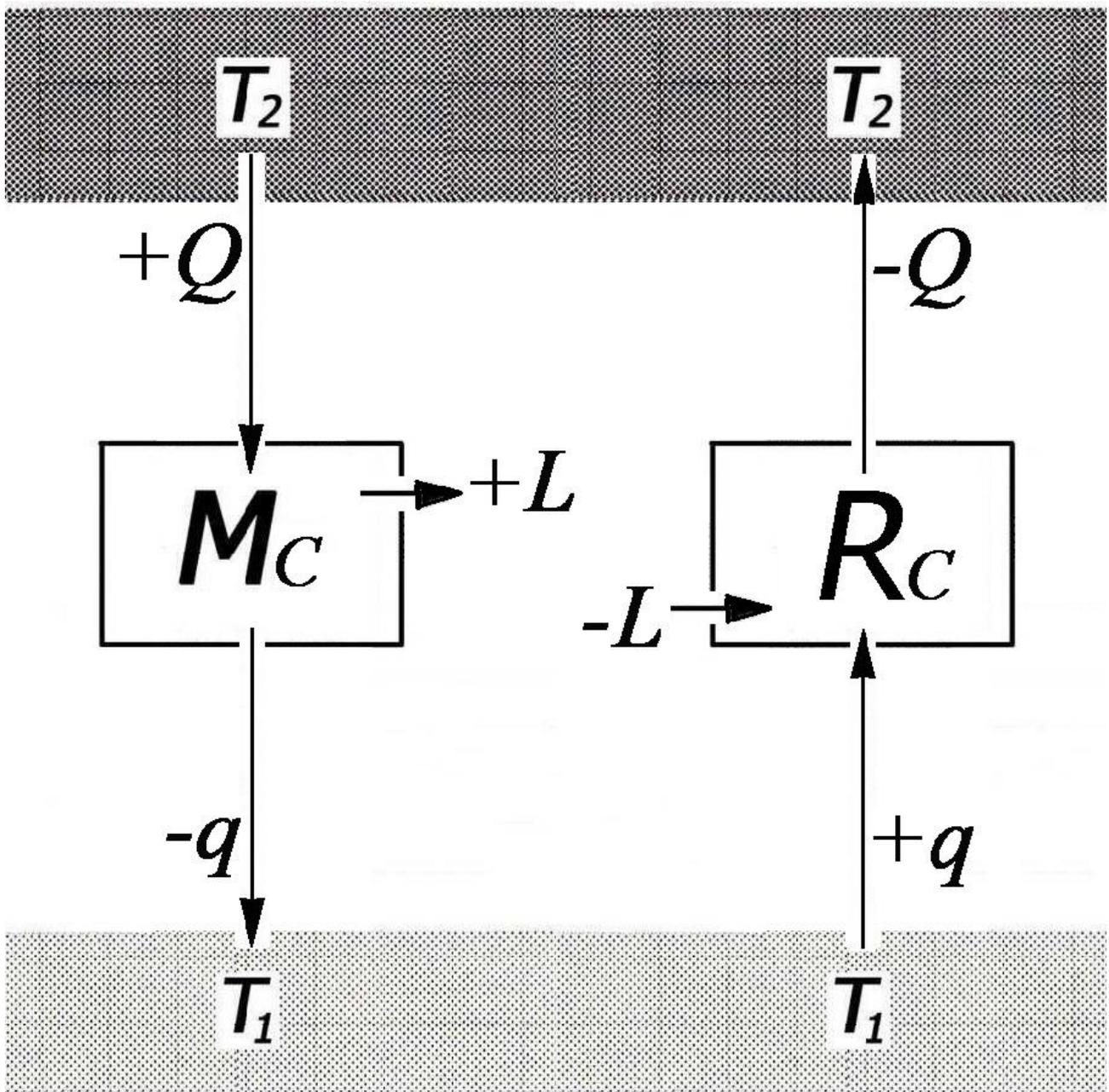


Fig. 7.2

La macchina di CARNOT (M_C) funziona come motore, quindi assorbe la quantità di calore $+Q$ dalla sorgente calda a temperatura T_2 , rigetta la quantità di calore $-q$ verso la riserva a temperatura inferiore T_1 , e produce il lavoro $+L$.

Il refrigeratore di CARNOT (R_C) ha un funzionamento esattamente opposto: per funzionare richiede di essere alimentato con il lavoro meccanico $-L$ (uguale, in valore assoluto, a $+L$), assorbe dalla riserva più fredda la quantità di calore $+q$ (uguale, in valore assoluto, a $-q$) e

infine rigetta verso la sorgente più calda la quantità di calore $-Q$ (uguale, in valore assoluto, a $+Q$).

7.25 IL TEOREMA DI CARNOT E I SUOI COROLLARI

Dopo tutte queste premesse, normalmente nei Testi viene presentato il teorema di CARNOT enunciato con la seguente Tesi:

“Nessuna macchina termica che funzioni tra due determinate temperature è più efficiente una macchina di CARNOT che lavori tra le stesse due temperature.”

Ricordiamo che la macchina di CARNOT è reversibile. Di solito, la macchina termica reversibile viene denominata *Rev*, mentre la macchina qualsiasi (quindi irreversibile) viene denominata *Irr*.

La verità della TESI viene dimostrata in due modi.

In alcuni Testi si trova lo schema e il metodo adottato da KELVIN nella memoria del 1851, mentre altri Testi presentano lo schema e il metodo utilizzato da CLAUSIUS nella sua memoria del 1854. Nei Capitoli precedenti abbiamo esaminato in dettaglio, ed anche commentato entrambe queste memorie, trovandole non condivisibili.

Conseguentemente, per verificare se gli Autori abbiano avuto successo nel fornire una dimostrazione condivisibile del teorema di CARNOT, dobbiamo dividere la nostra analisi nelle due Parti che seguono.

7.26 LA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO IL METODO DI KELVIN - SINOSI

Ricordiamo che nella sua memoria del 1851, KELVIN aveva impostato il teorema di CARNOT considerando un Sistema composto da due macchine termodinamiche, A e B, che lavoravano tra due stesse temperature, dove A era una macchina qualsiasi (quindi irreversibile) mentre B era reversibile.

KELVIN aveva posto l'ipotesi che la macchina irreversibile fosse **più efficiente** della macchina reversibile. Ciò è equivalente a dire che la macchina irreversibile produrrebbe più lavoro meccanico, rispetto a quello prodotto dalla macchina reversibile, a parità di calore scambiato con la sorgente calda.

Se esaminiamo la dimostrazione del teorema di CARNOT presentata in quei Testi in cui viene utilizzato lo schema di KELVIN, troviamo esattamente le condizioni di cui sopra.

Poiché Rev è reversibile, può essere fatta funzionare in senso inverso. La seguente Figura 7.3 mostra la rappresentazione grafica dello schema ideato da KELVIN.

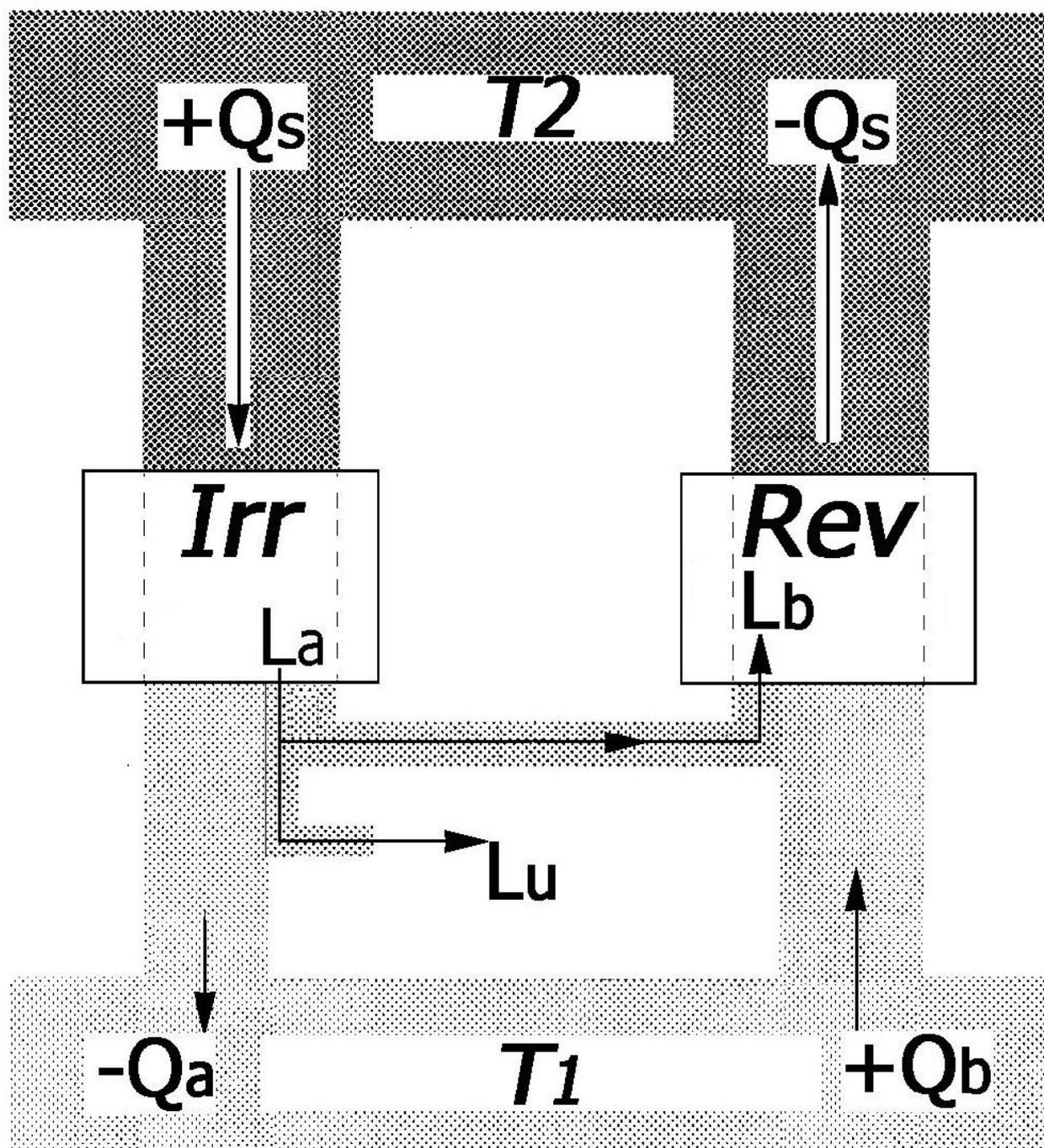


Fig. 7.3

La macchina irreversibile (*Irr*) viene fatta funzionare come motore termico tra le due temperature di funzionamento, T_2 e T_1 , con T_2 maggiore di T_1 , mentre la macchina di CARNOT (*Rev*) viene fatta funzionare come refrigeratore di CARNOT tra le stesse due temperature. Si noti che entrambe le macchine scambiano uguali quantità di calore con la sorgente calda.

L'Ipotesi che la macchina irreversibile (Irr) abbia una efficienza maggiore di quella posseduta dalla macchina di CARNOT (Rev) è espressa con la seguente disuguaglianza

$$\text{Ipotesi: } \eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

La macchina Rev richiede la quantità di lavoro L_b per funzionare come refrigeratore, ma poiché per l'ipotesi la macchina Rev è meno efficiente della macchina Irr, ciò implica che il lavoro L_a , prodotto da quest'ultima, è maggiore del lavoro assorbito L_b , con la conseguenza che vi sarebbe un eccesso di lavoro utile L_u uguale a:

$$L_u = L_a - L_b$$

La Figura è una rappresentazione grafica di tutte le condizioni di cui sopra, compresa l'ipotesi che Irr sia più efficiente di Rev.

Come è mostrato in Figura, la differenza tra i valori assoluti di $+Q_s$ e $-Q_s$, è uguale a zero. Ciò significa che la sorgente calda, a temperatura T_2 , sarebbe soggetta a scambi di calore complessivamente nulli.

Al contrario, dalla sorgente fredda verrebbe prelevato calore in continuazione in una quantità pari a:

$$+Q_b - Q_a$$

Questa differenza sarebbe esattamente equivalente all'eccesso di lavoro utile L_u (per il principio di conservazione dell'energia), per cui l'Ipotesi ($\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$) avrebbe la conseguenza che si potrebbe scrivere la seguente uguaglianza:

$$L_u = +Q_b - Q_a$$

dove la quantità di calore $+Q_b - Q_a$ sarebbe prelevata da una sola sorgente di calore: la più fredda.

Seguendo pedissequamente l'impostazione di KELVIN, gli Autori ritengono che tale conseguenza sia impossibile, poiché se fosse vera

quella l'uguaglianza, allora si sarebbe realizzata una macchina in grado di violare l'assioma.

Di conseguenza, gli autori di Testi concludono che la macchina Irr **non può essere più efficiente** di Rev, e il teorema di CARNOT sarebbe dimostrato.

7.27 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI KELVIN – PRIMO MOTIVO

Se confrontiamo la dimostrazione del teorema di CARNOT data da KELVIN nella sua memoria del 1851, con quella riscontrabile in un Testo nel quale viene usato il suo stesso modello di prova, possiamo notare che tra le due non c'è alcuna differenza.

Possiamo quindi estendere le osservazioni critiche contenute in un precedente Capitolo del presente libro, relative alla dimostrazione di KELVIN del teorema di CARNOT, a quelle dimostrazioni che si possono trovare in un moderno Testo in cui viene usato il suo stesso modello.

Ma prima di fare questo, possiamo esporre una critica che in quel Capitolo sarebbe stata fuori luogo.

Iniziamo a dire che la Tesi del teorema di CARNOT che ci viene propinata dagli Autori è la seguente:

“Nessuna macchina termica irreversibile, operante tra due date temperature può essere più efficiente di una macchina di Carnot operante tra le stesse riserve.”

In termini matematici, si vorrebbe dimostrare che la seguente disuguaglianza è vera:

$$\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

In tutti i Testi, la Tesi del teorema di CARNOT viene dimostrata utilizzando il principio del terzo escluso e quindi l'Ipotesi deve essere la negazione della Tesi.

Ipotesi: **Esiste** una macchina termica irreversibile (*Irr*), operante tra due date temperature, più efficiente di una macchina di CARNOT (*Rev*) operante tra le due stesse temperature.

Si esprime questa Ipotesi con la seguente disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

Gli Autori fanno idealmente funzionare le due macchine in reciproca contrapposizione: la macchina irreversibile *Irr* viene fatta funzionare come motore mentre la macchina di CARNOT reversibile *Rev* viene fatta funzionare come frigorifero, utilizzando una parte del lavoro meccanico prodotto da *Irr*.

Vi sarebbe un lavoro meccanico utile ottenuto sottraendo calore da una sola sorgente di calore.

A questo punto, viene fatto osservare che se l'ipotesi fosse vera, allora l'insieme di queste due macchine violerebbe l'assioma di KELVIN.

Siccome il ragionamento di cui sopra è stato impostato in modo da avere solo due possibili casi, uno opposto all'altro, gli autori di Testi possono utilizzare il principio del terzo escluso, il quale consente di affermare che l'Ipotesi deve essere falsa, e quindi essi traggono la conclusione che *Irr* non può essere più efficiente di *Rev*.

Ora bisogna fare molta attenzione a come esprimere questo concetto con una disuguaglianza, ma anche come interpretarla secondo una corretta Logica.

Perché infatti qualcuno potrebbe sostenere che si è dimostrata la seguente disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

mentre altri potrebbero sostenere che è stata invece dimostrata la seguente disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

In effetti, gli Autori più qualificati ammettono di aver dimostrato proprio quest'ultima disuguaglianza (comprensiva del segno di uguaglianza), perché l'Ipotesi era che:

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

e quindi il complemento (in opposizione) di tale disuguaglianza (che sarebbe stato dimostrato) è proprio:

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

Gli Autori però giustificano la presenza del segno di uguaglianza in modo diverso: sostenendo che il segno di uguaglianza vale quando la macchina irreversibile diventa reversibile.

Questa interpretazione è tuttavia **Illogica**, perché non è connessa con l'Ipotesi.

Invece, siccome l'Ipotesi è proprio la seguente:

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

Allora la negazione di tale ipotesi non comprende solo la disuguaglianza opposta, ma anche il segno di uguaglianza.

In definitiva, ciò che sarebbe stato **realmente** dimostrato è che una macchina irreversibile deve essere meno efficiente rispetto a una macchina reversibile, ma può anche essere egualmente efficiente (il segno di uguaglianza fa parte del risultato): **conclusione non compatibile con la teoria termodinamica attualmente condivisa dalla Comunità Scientifica.**

A tutto ciò dobbiamo aggiungere le seguenti considerazioni.

Dobbiamo osservare che il ragionamento presentato dagli Autori non tiene conto del fatto che i possibili casi sono in realtà i seguenti:

- 1) Irr è più efficiente di Rev;
- 2) Irr è efficiente come Rev;
- 3) Irr è meno efficiente di Rev.

Quindi è evidente che il teorema di CARNOT non può essere compiutamente dimostrato adottando la **tendenziosa Tesi** che ci viene propinata dagli Autori.

Per avere un dimostrazione del teorema di CARNOT compatibile con la vigente teoria, sarebbe **necessario** fornire la prova, certa e inconfutabile, che nessuna macchina irreversibile può essere efficiente **come una macchina reversibile**.

Come si vede, razionalizzando il ragionamento che gli Autori presentano per affermare la dimostrazione del teorema di CARNOT secondo lo schema di KELVIN, ci accorgiamo che la vera Tesi che bisognerebbe dimostrare è in realtà la seguente:

“Nessuna macchina termica irreversibile, operante tra due date temperature, può essere più efficiente, o ugualmente efficiente, di una macchina di CARNOT operante tra le due stesse riserve.”

Qui ci troviamo di fronte a una drammatica difficoltà: se è questa la vera Tesi del teorema di CARNOT, allora non è più possibile richiamare il principio del terzo escluso tramite la formulazione di una Ipotesi opposta alla Tesi, per il semplice motivo che la vera Tesi contiene due opzioni, e non è Logicamente possibile formulare un solo “opposto” di due opzioni diverse tra loro.

La vera Tesi può essere espressa anche come segue:

“Una macchina irreversibile è sempre meno efficiente di una macchina reversibile che lavora tra le stesse temperature”.

Tuttavia, anche questa versione della vera Tesi non può essere dimostrata invocando il principio del terzo escluso, per gli stessi motivi di cui sopra.

Fingiamo, però, che questa difficoltà non esista, e vediamo se esiste un modo per “correggere” i citati ragionamenti degli Autori e dimostrare la vera Tesi del teorema di CARNOT utilizzando il principio del terzo escluso.

Si potrebbe realizzare questa “correzione” se vi fosse qualche criterio di natura fisica per ridurre i tre possibili casi di cui sopra a due soltanto.

Il caso 1) rappresenta l'Ipotesi, e quindi non può essere eliminato.

Il caso 2) e il caso 3), nel loro insieme, consistono in ciò che si vorrebbe dimostrare, una volta giunti al punto in cui si manifesterà l'utilità di invocare l'assioma, per cui essi non possono essere eliminati.

Il principio di conservazione dell'energia non aiuta ad eliminare nessuno dei casi 1), 2) e 3) e non si ravvede alcuna motivazione logica per eliminare uno dei tre casi.

In definitiva, i possibili casi sono e restano tre, per cui la vera Tesi non può essere dimostrata invocando il principio del terzo escluso.

Il ragionamento presentato nei Testi non consente di affermare nulla circa il rendimento di una macchina irreversibile, e quindi non consente di affermare che Irr non possa essere **egualmente efficiente**, o perfino **più efficiente** rispetto a Rev.

Possiamo osservare che, ancora una volta, abbiamo potuto trarre questa sconcertante conclusione prescindendo dall'assioma.

Questa considerazione rende impossibile condividere l'opinione comune, secondo la quale la dimostrazione del teorema di CARNOT potrebbe non valere solo se non fosse valido l'assioma di KELVIN.

L'assioma di KELVIN, in realtà, non è di alcuna utilità nella dimostrazione del teorema di CARNOT che viene presentata nei Testi.

Possiamo concludere questo paragrafo affermando che, nei moderni Testi che utilizzano lo schema di KELVIN, non solo non viene data una dimostrazione condivisibile della disuguaglianza

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

ma non viene neanche dimostrato che

$$\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

7.28 CRITICA: INACCETTABILITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI KELVIN – SECONDO MOTIVO

La dimostrazione del teorema di CARNOT che solitamente viene presentata nei Testi seguendo lo schema di KELVIN, è inaccettabile anche per un secondo motivo - lo stesso motivo che abbiamo per la prima volta individuato in occasione della critica alla memoria del 1851 di KELVIN: La dimostrazione del teorema di CARNOT è stata lasciata incompleta.

Iniziamo ad osservare che gli Autori non impongono alcuna condizione sul grado di isolamento termico delle sorgenti di calore, né tra di loro e neppure tra ognuna di essa e il “resto dell'Universo”.

Siamo quindi liberi di supporre che il calore possa fluire, spontaneamente, dalla sorgente calda verso il refrigeratore secondo un preciso rateo temporale, senza attraversare le macchine e neppure il fluido che esse contengono.

Questo risultato si può ottenere tramite l'interposizione di opportuni materiali parzialmente termo-conduttori tra sorgente e refrigeratore, ovvero, di ciò che nella tecnica è denominato una “resistenza termica”.

Ora introduciamo questa modifica nel ragionamento per assurdo che viene presentato dagli Autori che utilizzano lo schema di KELVIN per la dimostrazione del teorema di CARNOT, facendo attenzione al

fatto che stiamo introducendo un fenomeno naturale (la conduzione di calore) ritenuto irreversibile.

Si potrebbe avere il dubbio che sia inconcepibile l'idea di introdurre un fenomeno irreversibile nel modello di dimostrazione di KELVIN del teorema di CARNOT. Tuttavia questo è il dubbio che potrebbe sorgere in chi sia ormai abituato a considerare valida la teoria termodinamica corrente.

Noi, al contrario, stiamo sottoponendo la teoria corrente ad una analisi critica, per cui non possiamo permetterci di restare condizionati da ciò che essa ci fa ritenere giusto o sbagliato.

Poiché stiamo introducendo questa modifica nel sistema delle due macchine contrapposte, A e B, **non al loro interno ma al loro esterno**, possiamo ripetere pedissequamente il ragionamento degli Autori, ma anche di proseguirlo oltre il punto in cui essi lo hanno dovuto (inconsapevolmente) terminare, nella convinzione di aver concluso la dimostrazione.

Torniamo all'inizio della dimostrazione del teorema, in cui c'è la macchina irreversibile A che funziona come motore, ed è in opposizione con la macchina reversibile B che funziona come frigorifero.

Gli autori hanno adottato l'assioma di KELVIN, il quale vieta che il calore consumato per produrre il lavoro possa provenire dal refrigeratore.

Di conseguenza, invocando tale assioma, essi hanno ritenuto di aver completato la dimostrazione.

Noi, invece, siamo liberi di andare oltre, e realizzare le condizioni che annullano costantemente il bilancio di calore del refrigeratore. Questo risultato si può ottenere a spese del calore sottratto alla sorgente calda, interponendo, tra sorgente e refrigeratore, una resistenza termica calcolata in modo tale da consentire il preciso

trasferimento di calore che determina l'azzeramento del bilancio termico del refrigeratore, come è rappresentato nella Figura 7.4.

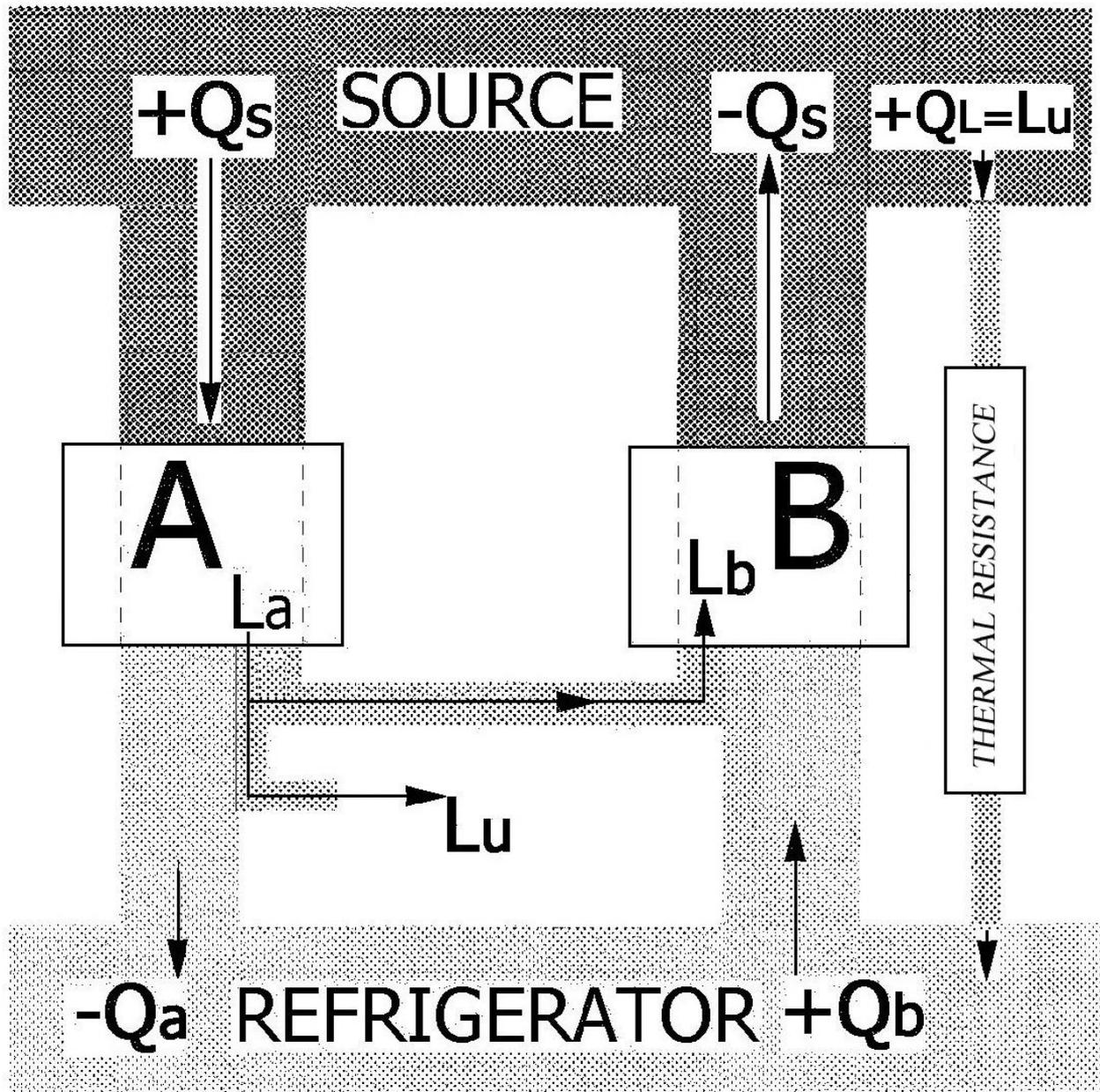


Fig. 7.4

L'introduzione di una resistenza termica ci costringe a far rientrare, almeno in parte, la variabile tempo nella trattazione nella teorica classica del calore.

Una resistenza termica è caratterizzata da un funzionamento che può essere descritto soltanto in funzione del tempo.

Infatti, il calore fluisce attraverso una resistenza termica secondo ratei temporali, mentre la teoria termodinamica classica descritta

dagli Autori non si è mai discostata dall'impostazione di CLAUSIUS, ed ha mantenuto il suo carattere a-temporale.

Dunque ora dobbiamo considerare le variazioni di energia che avvengono all'interno delle due macchine in opposizione, però non più in termini di quantità di calore (ovvero, in termini di energia), ma in termini di quantità di calore scambiate per una unità di tempo (ovvero, in termini di potenza).

Stabiliamo allora che le quantità di calore che andremo a considerare si dovranno intendere per unità di tempo.

Adottando questa convenzione, potremo considerare quali conseguenze derivano, nella trattazione del teorema di CARNOT, dall'introduzione di una resistenza termica che opera direttamente tra sorgente e refrigeratore, ovvero, all'esterno delle due macchine in opposizione.

Dopo tale parentesi incidentale torniamo al nostro teorema.

Mentre le due macchine in opposizione funzionano (e non c'è ancora alcun motivo che lo impedisca), la resistenza termica annulla il bilancio di calore del refrigeratore, cioè annulla quella quantità di calore (vedi figura)

$$+Q_b - Q_a$$

che, venendo consumata, produrrebbe il lavoro meccanico utile L_u .

Allora, dato che in una resistenza termica il calore può transitare senza essere distrutto (principio di conservazione dell'energia), essa estrarrà dalla sorgente lo stesso quantitativo di calore uguale, in valore assoluto, a Q_L

$$+Q_L = |+Q_b - Q_a| = L_u$$

il quale serve per produrre il lavoro utile L_u .

In definitiva, l'introduzione della resistenza termica consente di fare in modo che il calore che serve per produrre il lavoro meccanico utile sia prelevato dalla sorgente calda, non più dal refrigeratore.

Abbiamo già chiamato “calore locale di compensazione” questa precisa quantità di calore di conduzione, il cui valore in questo caso (vedi figura) è:

$$QL = |+Q_b - Q_a| = L_u$$

In tali condizioni, che potremmo definire stazionarie, il bilancio di calore del refrigeratore è zero e resta costantemente nullo mentre le due macchine continuano a funzionare. Ora non è più il refrigeratore (il più freddo dei corpi circostanti citati da KELVIN) ad erogare il calore consumato per produrre il lavoro utile L_u .

La quantità di calore che il refrigeratore avrebbe dovuto erogare (che ha determinato l'assurdità invocata dagli Autori) per produrre L_u , ora viene in realtà fornito dalla sorgente calda, la quale eroga esattamente la quantità di calore corrispondente al lavoro utile L_u prodotto dalle due macchine in opposizione.

Queste condizioni non determinano violazione dell'assioma di KELVIN.

Quindi, se si completa la dimostrazione introducendo il calore locale di compensazione, la combinazione di macchine A e B in opposizione ipotizzata dagli Autori, con la macchina irreversibile A più efficiente della macchina reversibile B, non produce alcuna assurdità e può continuare a funzionare a tempo indeterminato senza mai violare l'assioma.

La dimostrazione del teorema di CARNOT basata sullo schema ideato da KELVIN, che solitamente viene presentata dagli Autori, non è soltanto sbagliata per l'uso non consentito del principio del terzo escluso, come si è visto nel precedente paragrafo, ma è anche

incompleta per la mancata introduzione del calore locale di compensazione.

Anche in questo caso l'assioma di KELVIN si è dimostrato inutile.

Posiamo concludere questo paragrafo con le seguenti considerazioni.

È vero che abbiamo introdotto un fenomeno irreversibile nella trattazione del teorema di CARNOT, ma tale introduzione, sebbene possa sembrare assurda a coloro che sono già padroni di questa materia, in realtà è perfettamente coerente con ciò che questi esperti già conoscono.

Infatti, in primo luogo l'irreversibilità determinata dalla resistenza termica non modifica il funzionamento delle due macchine contrapposte, le quali restano le stesse di prima.

Oltre a ciò, come abbiamo visto in precedenza, secondo gli Autori, i cambiamenti che avvengono in modo irreversibile in una riserva sarebbero indistinguibili da quelli che avvengono quando la medesima riserva scambia la medesima quantità di calore in modo reversibile.

Infine, l'irreversibilità attribuita alla conduzione di calore è, come abbiamo più volte osservato, un corollario di un assioma che si è dimostrato completamente inutile.

7.29 LA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO L'IMPOSTAZIONE DI CLAUSIUS - SINOSI

Seguiamo ora la dimostrazione del teorema di CARNOT presentata da Autori che utilizzano lo schema ideato da CLAUSIUS delle due macchine contrapposte, il quale è diverso da quello di KELVIN per quanto riguarda il dimensionamento degli scambi di energia.

Questo schema è molto simile a quello utilizzato da CLAUSIUS per dimostrare il teorema del Valore-Equivalente delle trasformazioni reversibili. In quel caso, le due macchine contrapposte erano

supposte entrambe reversibili e tutto il lavoro prodotto da un ciclo che utilizzava un gas, era completamente assorbito da un ciclo che funzionava come refrigeratore utilizzando una diversa sostanza come corpo variabile.

In un precedente Capitolo abbiamo riportato i passi salienti di tale teorema e dimostrato che la dimostrazione data da CLAUSIUS non era condivisibile per varie ragioni.

Alcuni Autori presentano una dimostrazione del teorema di CARNOT utilizzano il medesimo schema di cui sopra, con la differenza che una delle due macchine termiche è supposta irreversibile.

In questo caso, lo schema che illustra il dimensionamento dei vari scambi energetici è mostrato nella seguente Figura 7.5.

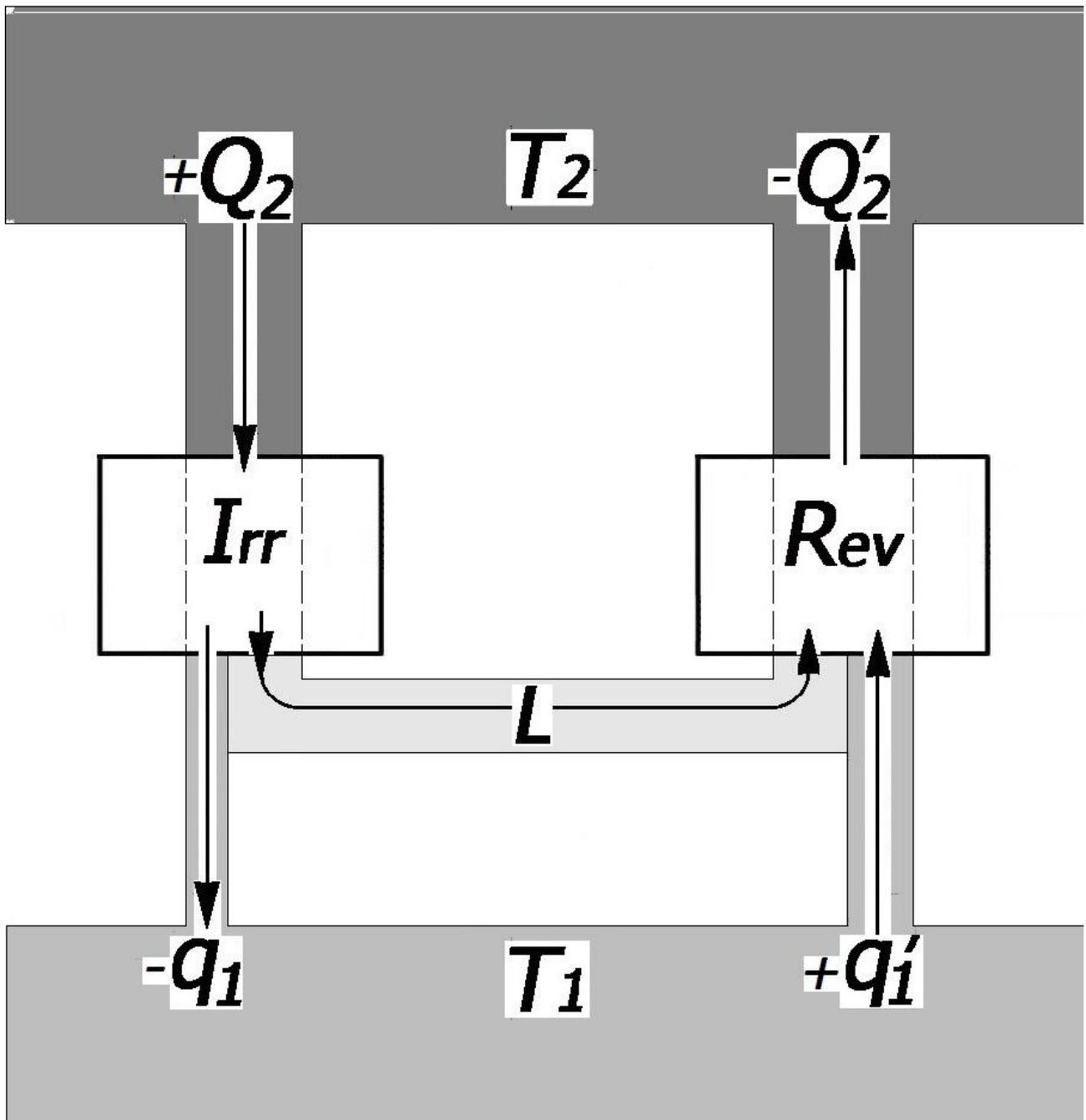


Fig. 7.5

La macchina irreversibile *Irr* viene fatta funzionare come motore termico tra due temperature di funzionamento, T_2 e T_1 , con T_2 maggiore di T_1 , mentre la macchina di CARNOT *Rev* viene fatta funzionare come refrigeratore di CARNOT tra le stesse due temperature.

Mentre lo schema di KELVIN prevede che la macchina di CARNOT assorba solo una parte del lavoro prodotto da *Irr*, lo schema di CLAUSIUS prevede che il lavoro meccanico L prodotto

dalla macchina *Irr* sia completamente utilizzato per far funzionare il refrigeratore *Rev*.

Viene poi formulata l'Ipotesi che la macchina irreversibile abbia una efficienza η_{Irr} maggiore dell'efficienza η_{Rev} della macchina di CARNOT, esprimendo tale Ipotesi con la seguente disuguaglianza

$$\text{Ipotesi: } \eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

La precedente Figura 7.5 rappresenta graficamente tutte le condizioni di cui sopra.

Il fatto che *Irr* sia più efficiente di *Rev* appare evidente osservando la figura. Infatti, una semplice occhiata consente di verificare che L è uguale per entrambi i cicli, e che il rapporto $L/+Q_2$ (il rendimento di *Irr* in modo diretto) è maggiore di $L/+Q'_2$ (il rendimento di *Rev* in modo diretto), dato che $|Q_2|$ è minore di $|Q'_2|$.

Si vede subito dalla figura che la differenza tra i valori assoluti delle quantità di calore scambiate dalla sorgente calda ($-Q'_2$ e $+Q_2$), è uguale alla differenza tra i valori assoluti delle quantità di calore scambiate dalla sorgente fredda ($-q'_1$ e $+q_1$).

L'Ipotesi porta a concludere che l'insieme delle due macchine contrapposte sarebbe in grado di assorbire calore dal refrigeratore a temperatura T_1 , consegnandolo interamente al corpo caldo a temperatura T_2 senza l'intervento di agenti esterni.

Infatti, la somma algebrica delle quantità di calore che verrebbero scambiate dal corpo caldo, sarebbe data dalla differenza $+Q_2 - Q'_2$, valore che, essendo negativo, corrisponderebbe a calore ceduto al corpo caldo, mentre la somma algebrica delle quantità di calore che verrebbe scambiata dal corpo freddo sarebbe data dalla differenza $+q'_1 - q_1$, valore che, essendo positivo, corrisponderebbe a calore estratto dal corpo freddo.

Dato che servirà nel seguito, chiamiamo Δq questo valore. Con tale definizione, si può dire che l'Ipotesi porterebbe a concludere che una

quantità di calore Δq verrebbe estratta da un corpo freddo e riconsegnata, integralmente, ad uno più caldo senza l'intervento di altri sistemi o provocando altri cambiamenti.

Il successivo ragionamento degli Autori è esattamente identico a quello ideato da CLAUSIUS: lo spostamento di calore da un corpo freddo ad uno più caldo senza l'intervento di agenti esterni è contrario all'assioma.

Secondo gli Autori, ciò comporta che l'Ipotesi che possa esistere una macchina irreversibile **più** efficiente di una macchina di CARNOT **non può essere vera**.

7.30 CRITICA: INACCETTABILITA' DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI CLAUSIUS – PRIMO MOTIVO

Il nostro esame critico inizia con l'osservazione che la Tesi del teorema di CARNOT che ci viene propinata dagli Autori che utilizzano lo schema di CLAUSIUS è ancora la stessa:

Nessuna macchina termica irreversibile operante tra due date temperature può essere **più efficiente** di una macchina di CARNOT operante tra le due stesse riserve.

Identica è anche l'Ipotesi e consiste nella negazione della Tesi:

Ipotesi: **Esiste** una macchina termica irreversibile (Irr), operante tra due date temperature, che è **più efficiente** di una macchina di CARNOT (Rev) operante tra le due stesse temperature.

Questa Ipotesi è di nuovo espressa con la stessa disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

A questo punto, gli Autori ripetono il medesimo ragionamento di CLAUSIUS, osservando che se l'Ipotesi fosse vera, allora l'insieme di queste due macchine produrrebbe una continua accumulazione di

calore sulla sorgente calda che non sarebbe compensata da nulla, e ciò violerebbe l'assioma di CLAUSIUS.

Ora andiamo a scoprire perché la Tesi presentata dagli Autori è tendenziosa.

Infatti, essa consente di limitare i possibili casi a due soltanto (Tesi e Ipotesi), una negazione dell'altro.

Ciò autorizza gli Autori ad invocare il principio del terzo escluso, il quale consente di affermare che l'Ipotesi deve essere falsa, e quindi essi traggono la conclusione che Irr non può essere più efficiente di Rev.

Ora bisogna fare molta attenzione a come esprimere questo concetto con una disuguaglianza, ma anche quale debba essere la sua interpretazione Logica.

Perché infatti qualcuno potrebbe sostenere che si è dimostrata la seguente disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

mentre altri potrebbero sostenere che è stata invece dimostrata la seguente disuguaglianza:

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

Gli Autori più qualificati ammettono di aver dimostrato proprio la precedente disuguaglianza (comprensiva del segno di uguaglianza), perché l'Ipotesi era

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

e quindi il complemento (in opposizione) di tale disuguaglianza (che sarebbe stato dimostrato) è proprio:

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

Gli Autori, però, giustificano la presenza del segno di uguaglianza in modo diverso, sostenendo che esso vale quando la macchina irreversibile diventa reversibile.

Questa interpretazione è tuttavia **illogica**, perché non è connessa con l'Ipotesi.

Invece, siccome l'Ipotesi è proprio la seguente

$$\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

Allora la negazione di tale ipotesi non comprende solo la disuguaglianza opposta ($<$), ma anche il segno di uguaglianza ($=$), ovvero: \leq .

Ciò che in effetti sarebbe stato **realmente** dimostrato (qualora mai il principio del terzo escluso fosse utilizzabile), è che una macchina irreversibile deve essere meno efficiente, ma può anche essere egualmente efficiente (il segno di disuguaglianza e quello di uguaglianza sono il risultato della dimostrazione) rispetto a una macchina reversibile: **conclusione non compatibile con la teoria termodinamica attualmente condivisa dalla Comunità Scientifica.**

A tutto ciò dobbiamo aggiungere che il ragionamento presentato dagli Autori non tiene conto che i possibili casi sono in realtà i seguenti:

- 1) Irr è più efficiente di Rev;
- 2) Irr è efficiente come Rev;
- 3) Irr è meno efficiente di Rev.

Quindi è evidente che il teorema di CARNOT non può essere compiutamente dimostrato adottando la **tendenziosa Tesi** che ci viene propinata dagli Autori.

Per avere una dimostrazione del teorema di CARNOT compatibile con la vigente teoria, sarebbe **necessario** fornire la prova, certa e

inconfutabile, che **nessuna macchina irreversibile può essere efficiente come una macchina reversibile.**

Come si vede, razionalizzando il ragionamento che gli Autori presentano per affermare la dimostrazione del teorema di CARNOT secondo lo schema di CLAUSIUS, ci accorgiamo che la vera Tesi da dimostrare è in realtà la seguente:

“Nessuna macchina termica irreversibile, operante tra due date temperature, può essere più efficiente, o ugualmente efficiente, di una macchina di Carnot operante tra le due stesse riserve.”

Qui ci troviamo di fronte a una drammatica difficoltà: se è questa la vera Tesi del teorema di CARNOT, allora non è più possibile richiamare il principio del terzo escluso tramite la formulazione di una Ipotesi opposta alla Tesi, per il semplice motivo che la vera Tesi contiene due opzioni, e non è logicamente possibile formulare un solo “opposto” di due opzioni diverse tra loro.

La vera Tesi può essere espressa anche come segue:

“Una macchina irreversibile è sempre meno efficiente di una macchina reversibile che lavora tra le stesse temperature”.

Tuttavia, anche questa versione della vera Tesi non può essere dimostrata invocando il principio del terzo escluso, per gli stessi motivi di cui sopra.

Fingiamo, però, che questa difficoltà non esista, e vediamo se esiste un modo per “correggere” i citati ragionamenti degli Autori, e dimostrare la vera Tesi del teorema di CARNOT utilizzando il principio del terzo escluso.

Si potrebbe realizzare questa correzione se vi fosse qualche criterio di natura fisica per ridurre i tre possibili casi di cui sopra a due soltanto.

Il caso n. 1) rappresenta l'Ipotesi, e quindi non può essere eliminato.

Il caso n. 2) e il caso n. 3) nel loro insieme consistono in ciò che gli Autori vorrebbero dimostrare, per cui essi non possono essere eliminati.

Il principio di conservazione dell'energia non aiuta ad eliminare nessuno dei casi 1), 2) e 3) e non si ravvede alcuna motivazione logica per eliminare uno dei tre casi.

In definitiva, i possibili casi sono e restano tre, per cui la vera Tesi non può essere dimostrata invocando il principio del terzo escluso.

Il ragionamento presentato dagli Autori non consente di affermare nulla circa il rendimento di una macchina irreversibile, e quindi non consente di affermare che una generica macchina irreversibile non possa essere **egualmente efficiente**, o perfino **più efficiente** rispetto ad una reversibile.

Possiamo osservare che, ancora una volta, abbiamo potuto trarre questa sconcertante conclusione prescindendo dalla verità dell'assioma.

Questa considerazione rende impossibile condividere l'opinione comune, secondo la quale il teorema di CARNOT potrebbe non valere solo se non fosse valido l'assioma di CLAUSIUS.

L'assioma di CLAUSIUS, in realtà, non è di alcuna utilità nella dimostrazione del teorema di CARNOT che viene presentata nei Testi.

Possiamo concludere questo paragrafo affermando che nei moderni Testi, non solo non viene data una dimostrazione condivisibile della disuguaglianza

$$\eta_{Irr} \leq \eta_{Rev}$$

ma non viene neanche dimostrato che

$$\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

7.31 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare la seguente vera Tesi del teorema di CARNOT senza invocare il principio del terzo escluso : “Una macchina irreversibile è sempre meno efficiente di una macchina reversibile che lavora tra le stesse temperature”.

7.32 CRITICA: INACCETTABILITA' DELLA DIMOSTRAZIONE DEL TEOREMA DI CARNOT SECONDO LO SCHEMA DI CLAUSIUS – SECONDO MOTIVO

La dimostrazione del teorema di CARNOT presentata dagli Autori che adottano lo schema di CLAUSIUS, è inaccettabile per un secondo motivo, lo stesso che abbiamo già individuato nel corso della critica relativa alla memoria del 1851 di KELVIN e alle altre memorie di CLAUSIUS: Il ragionamento relativo alla dimostrazione è incompleto perché non prevede l'introduzione del “calore locale di compensazione” tra le due riserve di calore.

Sembra oramai essere perfettamente chiaro che se l'Ipotesi prospettata dagli Autori fosse vera (Irr più efficiente di Rev), l'intero eccesso di calore (Δq) che la riserva calda riceverebbe nell'unità di tempo, potrebbe tornare da solo al refrigeratore nel medesimo tempo, se si sfruttasse il fenomeno naturale della conduzione di calore utilizzando una resistenza termica come nella seguente Figura 7.6.

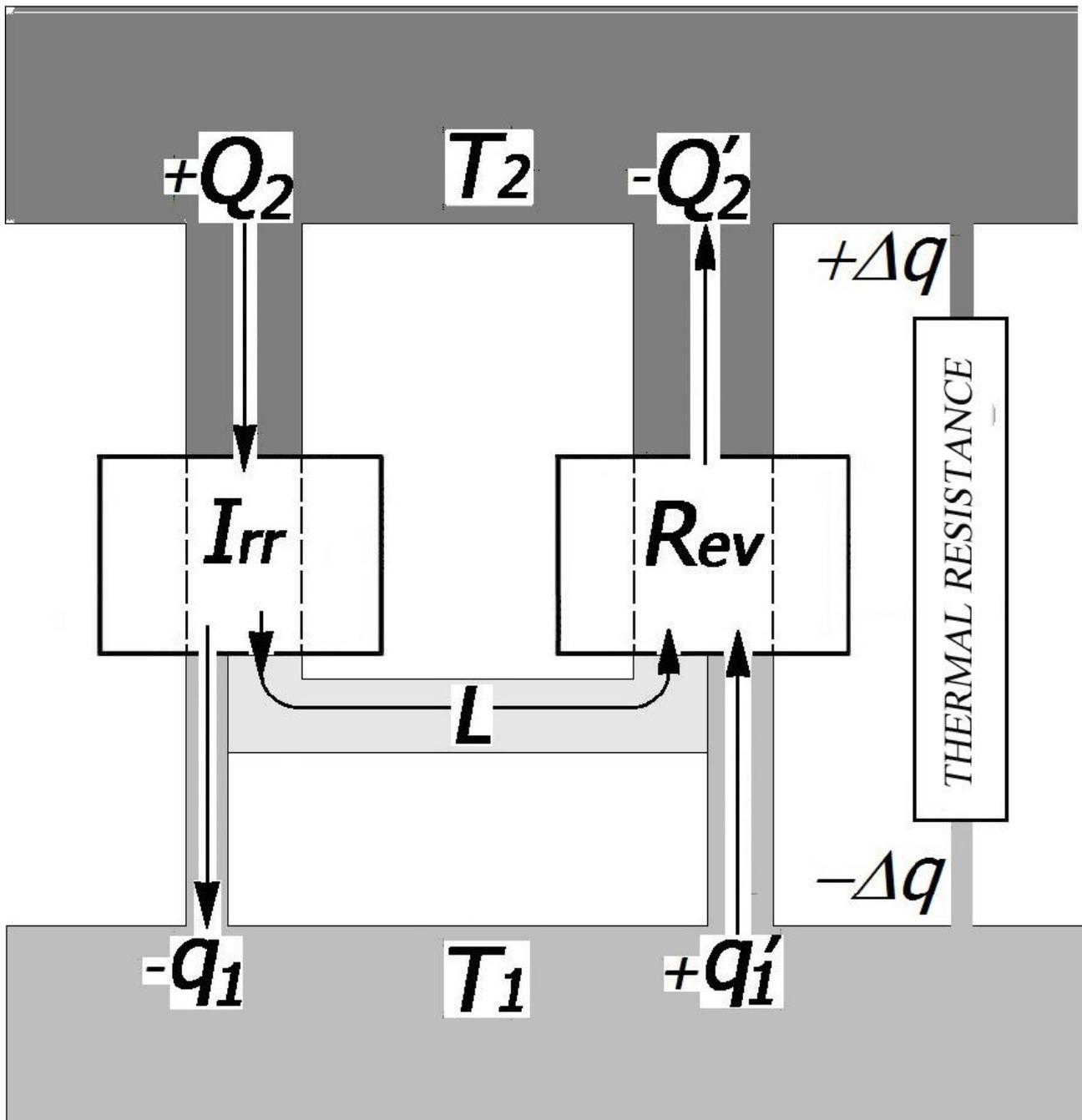


Fig. 7.6

Infatti, in virtù del principio di conservazione dell'energia, la quantità di calore che attraversa una resistenza termica ideale in una unità di tempo non può diminuire durante il percorso interno, ma subisce soltanto una diminuzione di temperatura durante tale attraversamento.

L'idea di impiegare una resistenza termica “ideale” è coerente con la logica di un teorema che considera cicli “ideali”.

L'introduzione della resistenza termica, e del calore locale di compensazione che essa conduce, consente che tutti i parametri del sistema ritornino ai valori iniziali senza intervento di agenti esterni (dal resto dell'universo) e senza comportare violazioni dell'assioma.

È vero che in tal modo si introduce un fenomeno ritenuto irreversibile, ma bisogna ricordare che gli Autori, prima ancora di introdurre il teorema di CARNOT, avevano già tratto la definizione di irreversibilità dall'assioma.

Pertanto, sarebbe illogico dapprima dichiarare che non si può introdurre la resistenza termica perché l'assioma sarebbe violato, e poi, dopo che essa sia stata omessa in virtù dell'assioma, dichiarare che l'Ipotesi è assurda perché violerebbe lo stesso assioma.

Sfruttare ripetutamente uno stesso assioma in un ragionamento di Logica consente di dimostrare una qualsiasi proposizione.

Se completiamo nel modo sopra indicato il ragionamento prematuramente interrotto dagli Autori, non possiamo più condividere la loro conclusione, secondo la quale l'Ipotesi ($\eta_{Irr} > \eta_{Rev}$) sarebbe una assurdità, ma dobbiamo al contrario stabilire che neppure la loro tendenziosa Tesi del teorema di CARNOT può essere dimostrata adottando l'impostazione e lo schema ideato da CLAUSIUS.

7.33 IL TEOREMA DI CARNOT SECONDO I MODERNI LIBRI DI TESTO DI TERMODINAMICA CLASSICA – CONCLUSIONI

È giunto il momento di riassumere i risultati della nostra analisi critica di quella parte dei Testi riguardante il teorema di CARNOT. Essa ci ha permesso di stabilire che le dimostrazioni attualmente condivise del teorema di CARNOT sono tutte affette da diversi errori di Logica, per cui possiamo affermare quanto segue:

1) La Tesi del teorema di CARNOT che viene presentata dagli Autori, non è compatibile con il concetto fondamentale attualmente condiviso dalla Comunità Scientifica relativa al Secondo Principio della Termodinamica, secondo il quale non solo nessuna macchina irreversibile può essere più efficiente, ma neppure ugualmente efficiente di una macchina di CARNOT che lavori tra le stesse temperature.

Questa sarebbe la vera Tesi del teorema di CARNOT da dimostrare, per essere coerenti con il comune sentire della Comunità Scientifica.

Al contrario, gli Autori espongono una Tesi assai meno ambiziosa e ben più fuorviante: nessuna macchina irreversibile può essere più efficiente di una macchina di CARNOT tra le stesse temperature di funzionamento.

Pertanto, anche l'Ipotesi degli Autori, che è qui riportata per comodità, diventa fuorviante:

“Esiste una macchina termica più efficiente di una macchina di CARNOT tra le stesse temperature di funzionamento.”

La vera Ipotesi dovrebbe invece essere la seguente:

“Esiste una macchina irreversibile più efficiente, o almeno altrettanto efficiente di una macchina di CARNOT tra le stesse temperature di funzionamento.”

2) Gli Autori ritengono di poter dimostrare la fuorviante Tesi del teorema di CARNOT utilizzando il principio del terzo escluso, senza rendersi conto che tale principio non può essere invocato nel contesto del sistema fisico da essi considerato. Il principio del terzo escluso può essere utilizzato soltanto se il teorema coinvolge soltanto due possibili casi, e soltanto se essi sono l'uno la negazione dell'altro, in quanto l'Ipotesi deve consistere nella negazione della Tesi.

Al contrario, il sistema considerato dagli Autori è composto di due macchine termiche, una irreversibile (Irr) e l'altra reversibile (Rev) che funzionano in reciproca contrapposizione tra due date temperature.

Per quanto riguarda l'efficienza (η) di una macchina rispetto all'altra esistono quindi tre possibili casi:

$$1) \eta_{Irr} > \eta_{Rev}$$

$$2) \eta_{Irr} = \eta_{Rev}$$

$$3) \eta_{Irr} < \eta_{Rev}$$

Il caso n. 1 rappresenta la tendenziosa Tesi degli Autori.

Poiché il principio del terzo escluso richiede che l'Ipotesi sia la negazione della Tesi, si potrebbero avere due distinte opinioni su come ulteriormente procedere nel ragionamento Logico.

Ad esempio, un primo Gruppo di fisici potrebbe ritenere che la negazione della Tesi sia soltanto il caso n. 3 ($\eta_{Irr} < \eta_{Rev}$), mentre un secondo Gruppo di matematici potrebbe ritenere che tale negazione sia costituita dall'insieme dei casi n. 2 e n. 3.

Come vedremo, usando una corretta Logica, nessuno dei due Gruppi può ritenere che i ragionamenti riportati dagli Autori siano compatibili con l'opinione che la Comunità Scientifica mantiene sul tema.

Secondo l'opinione del primo Gruppo, se, in generale, l'Ipotesi deve essere la negazione della Tesi, allora l'Ipotesi deve coincidere con il caso n. 3)

$$(\eta_{Irr} < \eta_{Rev})$$

Come è evidente, essendo rimasto non considerato il caso n. 2) $\eta_{Irr} = \eta_{Rev}$, il primo Gruppo può pretendere di affermare che Irr non può essere più efficiente di Rev, ma nulla può affermare sulla possibilità che Irr sia ugualmente efficiente come Rev, e ciò non è

compatibile con l'opinione che la Comunità Scientifica mantiene sul tema.

Secondo l'opinione del secondo Gruppo, l'Ipotesi coincide con l'insieme dei casi n. 2 e n. 3.

È vero che ora vi sono soltanto due casi, uno negazione dell'altro, per cui si può invocare il principio del terzo escluso, ma esso consente di affermare contemporaneamente la verità di due proposizioni:

$$A) (\eta_{Irr} < \eta_{Rev})$$

$$B)(\eta_{Irr} = \eta_{Rev})$$

La proposizione B), tuttavia, non è compatibile con l'opinione che la Comunità Scientifica mantiene sul tema, la quale, come già detto, è la seguente:

“Nessuna macchina irreversibile può essere più efficiente, e neppure egualmente efficiente di una macchina di CARNOT, a parità di temperature di funzionamento .”

3) Gli Autori ritengono di aver dimostrato il teorema di CARNOT nel momento in cui la loro fuorviante Ipotesi li porta a contraddire l'assioma.

Essi non si accorgono che in tal modo hanno lasciato incompleto il loro ragionamento, poiché il calore può defluire spontaneamente dalla sorgente più calda (dove si sarebbe accumulato in eccesso) verso quella più fredda, se tra queste due sorgenti viene interposta una opportuna resistenza termica.

Poiché la resistenza termica viene introdotta tra le due sorgenti, e non all'interno delle due macchine contrapposte, le due macchine possono continuare a funzionare secondo l'ipotesi senza violare l'assioma.

4) L'insieme delle precedenti osservazioni rende evidente che le dimostrazioni del teorema di CARNOT presentate dagli Autori non sono condivisibili a prescindere dalla validità dell'assioma.

In altri termini, l'assioma potrebbe consistere in una qualsiasi proposizione, anche la più assurda, dal momento che, a rigor di Logica, il ragionamento presentato dagli Autori non giunge mai al punto in cui si manifesta l'utilità di invocare l'assioma.

In conclusione, abbiamo trovato una serie di motivazioni che consentono di affermare che i ragionamenti presentati dagli Autori che hanno adottato lo schema di KELVIN, oppure quello di CLAUSIUS, per dimostrare il teorema di CARNOT, non consentono di affermare nulla circa il rendimento di una macchina irreversibile, e quindi non consentono di affermare che una macchina irreversibile non possa essere egualmente efficiente, o perfino più efficiente rispetto ad una macchina reversibile, nonostante il fatto che tali ragionamenti siano stati condivisi per oltre centocinquanta anni.

7.34 LA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

Superato il capitolo dedicato al teorema di CARNOT, nei Testi di solito si incontra quello dedicato alla “Scala Termodinamica di Temperatura”, o scala assoluta di KELVIN.

La convinzione di aver dimostrato il teorema di CARNOT, induce gli Autori a definire la Scala Termodinamica di Temperatura sulla base di un corollario del teorema: la presunta indipendenza del rendimento della macchina di CARNOT dalla sostanza usata come fluido variabile.

Tuttavia, come si è visto, finora non si è trovata una soddisfacente dimostrazione del teorema di CARNOT, e quindi anche il corollario

posto a fondamento della scala termodinamica di temperatura viene meno.

Questa grave conseguenza rappresenta, a mio avviso, una buona occasione per eliminare (o correggere) alcune incongruenze presenti nella scala termodinamica di KELVIN. Questo risultato si può conseguire definendo una diversa scala di temperatura basata su un fenomeno fisico sconosciuto ai tempi di KELVIN: la temperatura di corpo nero.

Ma poiché i ragionamenti connessi con tale programma sembrano troppo distanti dallo scopo principale del presente libro, ritengo opportuno riportare tale argomento in Appendice A.

7.35 ENTROPIA – RIASSUNTO E CRITICA

Nel presente capitolo saranno riportate alcune equazioni matematiche.

I lettori meno preparati non devono preoccuparsi di comprendere il significato matematico di queste equazioni. Come già detto in precedenza, infatti, gli errori che sono evidenziati non sono di natura matematica - non sono errori compiuti negli sviluppi matematici che hanno condotto alle citate equazioni, sono, invece, errori di Logica, i quali possono essere compresi da chiunque.

Pertanto, cari lettori de futuro, lasciatevi scorrere addosso le equazioni che incontrerete e concentrate invece la vostra attenzione sulla Logica dei ragionamenti.

A questo punto, la nostra analisi critica dei Testi, circa i concetti comunemente accettati sul Secondo Principio della Termodinamica è quasi terminata; resta da vedere se gli esiti catastrofici che essa ha determinato si riflettano in modo negativo anche sul Secondo Principio della Termodinamica espresso in termini di Entropia.

Per accertare se questa eventualità si è verificata, iniziamo ad osservare che gli Autori più qualificati impostano un rigoroso ragionamento per generalizzare i concetti connessi al lavoro prodotto reversibilmente da un qualunque sistema fisico in cui una generica forza esegue un generico spostamento.

Questi Autori iniziano quindi a considerare un generico sistema fisico in grado di subire spostamenti sotto l'azione di forze, per poter evitare ogni riferimento a qualche specifico corpo materiale, come ad esempio un determinato gas o un certo liquido.

Il problema è che per realizzare tutto ciò, gli Autori non fanno altro che riportare, in termini leggermente diversi, gli stessi concetti e argomenti usati da CLAUSIUS nella già citata raccolta delle sue memorie pubblicata da McMillan & Co nel 1879.

Gli Autori evidenziano che una generica trasformazione reversibile che passa da un punto iniziale A e termina nel punto B, compiendo una certa curva, può essere approssimata da una sequenza di due particolari trasformazioni reversibili: le adiabatiche e le isoterme.

Gli Autori illustrano questo concetto con rappresentazioni grafiche del tutto simili a quelle utilizzate da CLAUSIUS. Riportiamo qui riportiamo per comodità le figure n. 14, 15 e 16 tratte dalla Raccolta delle Memorie di CLAUSIUS, Cap. III, p. 87, 88 e 89.

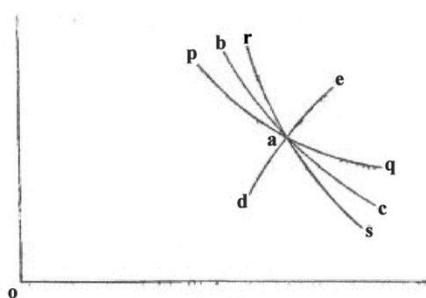


Fig. 14.

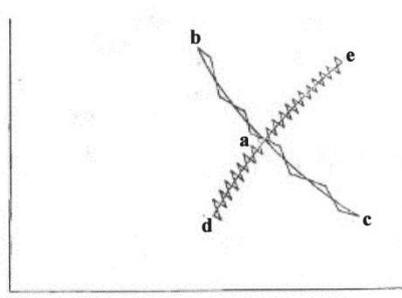


Fig. 15.

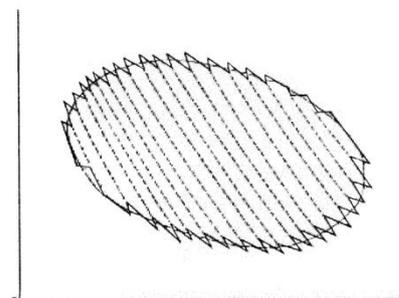


Fig. 16.

Come si vede dalle Figure, gli Autori, seguendo pedissequamente l'impostazione di CLAUSIUS, possono affermare che, data una trasformazione reversibile qualsiasi, essa può essere sempre approssimata mediante una sequenza di adiabatiche e di isoterme

(vedi Fig. 16), mantenendo identici tutti i valori delle grandezze termodinamiche coinvolte: Lavoro, calore e punti estremi.

Con tali mezzi, gli Autori affrontano il problema di approssimare un percorso chiuso (un ciclo) reversibile qualunque mediante una serie a zigzag di adiabatiche e isoterme.

Come si vede dalla Figura n.16, il ciclo reversibile originario è stato approssimato con una serie di cicli di CARNOT.

La quantità di calore coinvolta in tale percorso a zigzag è circa uguale alla quantità di calore coinvolta nella trasformazione circolare originaria.

Fino a questo punto, i ragionamenti esposti dagli Autori sono ineccepibili.

I problemi iniziano nel momento in cui gli Autori applicano la tesi del teorema di CARNOT al primo ciclo di CARNOT della suddivisione.

Logicamente, questi Autori ignorano che la loro dimostrazione del teorema di CARNOT non è valida, e non possono immaginare che l'applicazione di tale teorema al ragionamento che essi stanno facendo renda non valide tutte le loro successive deduzioni.

Non è valida, in particolare, l'equazione seguente, che essi hanno dedotto con il citato ragionamento:

$$\sum Q_j/T_j = 0$$

Dalla invalidità di questa equazione, consegue, inevitabilmente, l'invalidità dell'equazione seguente:

$$\int dQ/T = 0$$

Questa equazione è stata ottenuta dagli Autori mediante l'operazione matematica di ricavare il valore-limite della citata sommatoria – cosa che corrisponde ad un numero divergente (tendente all'infinito) delle suddivisioni di cui sopra, ed esprime ciò che è universalmente

noto come “Teorema di CLAUSIUS” o anche “Integrale di CLAUSIUS”, il quale può essere espresso verbalmente come segue:

“L'integrale circolare della funzione Q/T di una trasformazione è sempre uguale a zero, a condizione che tale trasformazione sia costituita da un percorso chiuso (un ciclo) reversibile.”

Questa proposizione è anche nota come enunciazione matematica della Seconda Legge della Termodinamica.

Riassumendo, secondo gli Autori, l'integrale di CLAUSIUS calcolato per un generico ciclo eseguito da vari corpi, alcuni dei quali possono espandersi mentre altri no, ha la proprietà di essere sempre nullo, a condizione che il ciclo sia percorso in modo perfettamente reversibile.

Secondo gli Autori, questa proprietà non appartiene ad un determinato corpo, ma solo al “sistema” fisico complesso considerato, in quanto esso si evolve reversibilmente.

C'è evidentemente una perfetta corrispondenza tra l'enunciazione matematica della Seconda Legge della Termodinamica formulata da CLAUSIUS nella sua memoria del 1854 e quella data dagli Autori.

Pertanto, gli stessi ragionanti di Logica che ci hanno fatto dichiarare non-condivisibile il citato teorema pubblicato da CLAUSIUS nel 1854, sono ancora validi per dichiarare non condivisibile anche la versione moderna del medesimo teorema.

Naturalmente, gli Autori, ritenendo che l'integrale di CLAUSIUS sia stato dimostrato, lo utilizzano per trarne facilmente un corollario, il quale è ritenuto di particolare importanza in quanto esprime il Secondo Principio in termini di Entropia.

In genere, per esprimere in tal modo la Seconda Legge della Termodinamica, gli Autori presentano una figura del tipo seguente (Figura 7.7) in cui in ascissa (X) è rappresentato un generico

spostamento mentre in ordinata (Y) è rappresentata la generica forza.

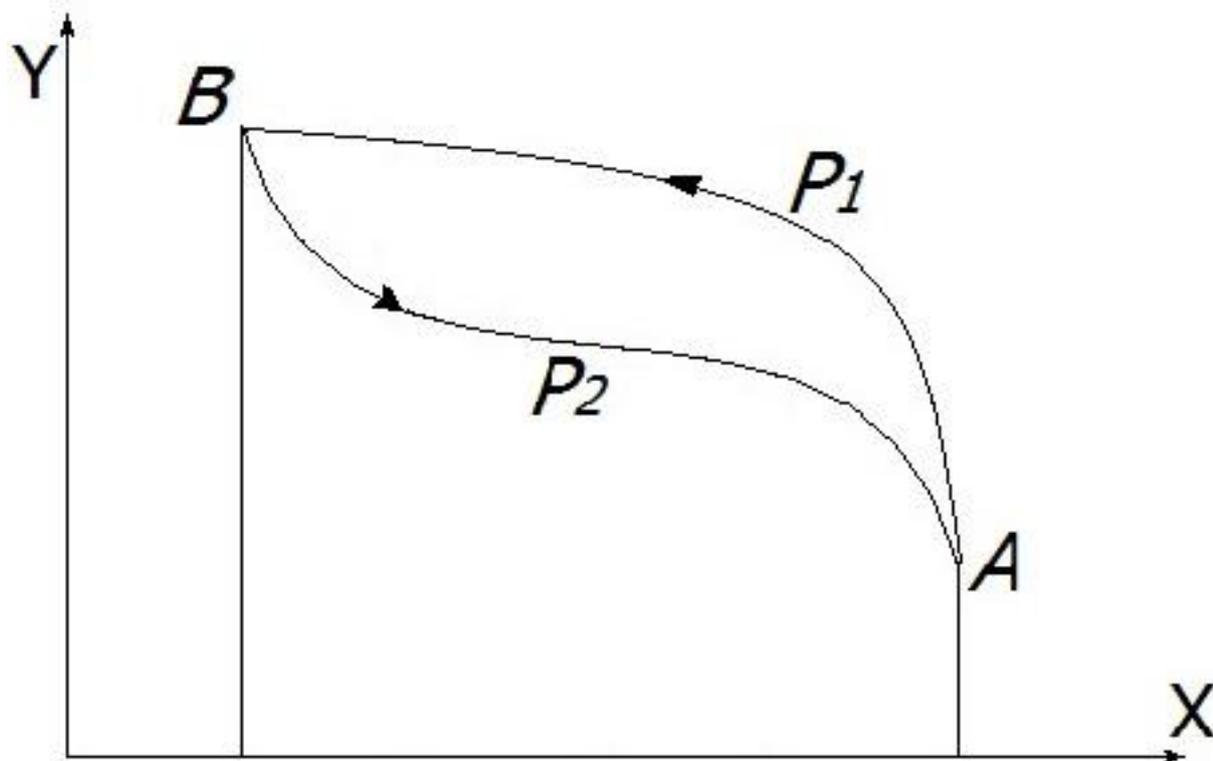


Fig. 7.7

I due punti A e B sono due generici stati di equilibrio di un sistema termodinamico, poi vi sono due percorsi curvi che li uniscono: Il percorso P_1 di andata da A ad B, ed il percorso P_2 , da B ad A.

Sulla scorta di quanto ritengono di aver dimostrato, gli Autori possono affermare che i due percorsi reversibili costituiscono, nel loro insieme, un ciclo reversibile per il quale l'integrale di CLAUSIUS è nullo, e ciò consente loro di scrivere il primo membro dell'integrale di CLAUSIUS diviso in due addendi, uno relativo al percorso P_1 , e l'altro relativo al percorso P_2 .

Questo modo di suddividere l'integrale di CLAUSIUS, serve a mostrare che l'integrale di dQ/T calcolato lungo il percorso P_1 dal punto A al punto B, sarebbe uguale, ma di segno opposto, all'integrale di dQ/T calcolato lungo il percorso P_2 , dal punto B al punto A, con risultato finale uguale a zero.

Se ciò fosse vero, allora ne conseguirebbe l'importante proprietà che l'integrale di dQ/T sarebbe indipendente dal percorso reversibile che collega A ed B.

Da ciò si dedurrebbe l'esistenza di una tale funzione delle coordinate termodinamiche di un sistema, caratterizzata dal fatto che il suo valore allo stato finale meno il valore allo stato iniziale è uguale all'integrale di dQ/T , ovvero, questa funzione sarebbe una “funzione di stato”.

Ricordiamo che CLAUSIUS denominò Entropia questa funzione di stato nella sua memoria del 1865.

Se l'esistenza di tale funzione di stato fosse dimostrata, allora si potrebbe affermare che la differenza tra l'Entropia nel punto A e l'Entropia nel punto B non dipende dal percorso reversibile che unisce A e B.

Sarebbe questo, l'importante corollario dell'integrale di CLAUSIUS, il quale consentirebbe di fare previsioni circa l'evoluzione di trasformazioni termodinamiche reversibili.

Purtroppo, però, nel momento in cui gli Autori hanno introdotto nei loro ragionamenti la loro (tendenziosa) Tesi del teorema di CARNOT (che essi ritengono di aver dimostrato), hanno iniziato ad introdurre concetti privi di prova.

Ne consegue che in realtà essi non hanno conseguito una dimostrazione convincente della verità dell'integrale di CLAUSIUS per i cicli reversibili, e neppure una dimostrazione credibile dell'esistenza di una funzione chiamata “Entropia”, la quale dovrebbe avere la proprietà di essere una funzione di stato generalizzata, indipendente da qualunque sostanza o composto chimico.

Gli autori di alcuni libri di testo di termodinamica, forse essendo diventati consapevoli delle illogicità contenute nel teorema di

Carnot, seguono una diversa impostazione per giungere a spiegare agli studenti l'esistenza della funzione di stato Entropia e dell'agognato concetto del principio di aumento dell'entropia.

Per essere concreti, seguiamo, ad esempio, l'impostazione adottata nel testo universitario intitolato "*Heat and Thermodynamics*", di Mark W. Zemansky e Richard H. Dittman, Mc.Graw Hill Publishing Company, 1981.

L'impostazione presentata in questo Testo per introdurre il Secondo Principio della Termodinamica è congegnata come segue:

Viene dapprima presentato (p. 147) l'assioma Kelvin-Planck:

“Nessun processo è possibile il cui unico risultato sia quello di assorbire calore da una sorgente e trasformare questo calore in lavoro.”

Viene poi introdotto (p. 153) un assioma attribuito a CLAUSIUS:

“Nessun processo è possibile il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo freddo ad uno più caldo.”

Poniamo attenzione al fatto che questo non è esattamente l'assioma originariamente adottato da CLAUSIUS, che invece era:

“Il calore non può passare da un corpo freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.”

Di seguito (p. 153) gli autori presentano un ragionamento che vorrebbe dimostrare che l'assioma Kelvin-Planck è equivalente a quello di quello di CLAUSIUS.

Nel successivo paragrafo 7-1 (p. 158), gli autori espongono il concetto degli “intorni locali” di un sistema, i quali sono costituiti da meccanismi e sorgenti di calore che interagiscono direttamente

con il sistema; di seguito, essi cercano di dare la definizione di un'entità nota come “*il resto dell'universo*”, che comprenderebbe:

“Altri dispositivi meccanici e riserve di calore che sono accessibili e che potrebbero interagire con il sistema costituito dagli intorni locali del sistema – o, per meglio dire, il resto dell'universo”.

Sempre nel Paragrafo 7.1 (p. 159) viene presentata la definizione di fenomeno reversibile:

“Un processo reversibile è uno tale che si svolge in modo tale che, alla conclusione del processo, sia il sistema che gli intorni locali possono essere ripristinati al loro stato iniziale, senza produrre alcun cambiamento nel resto dell'universo.”

Per essere più chiari, noi possiamo esplicitare questa proposizione come segue:

“Un processo reversibile è uno che si svolge in modo tale che, alla conclusione del processo, sia il sistema che gli intorni locali possono essere ripristinati al loro stato iniziale, senza produrre alcun cambiamento in nessun dispositivo meccanico e in nessuna sorgente di calore.”

Analizzando con attenzione la sequenza di definizioni di cui sopra, risulta evidente che anche per questi autori la definizione di reversibilità scaturisce come una immediata conseguenza dell'assioma.

Questi autori, infatti, non ottengono la definizione di processo reversibile come una conseguenza di sviluppi teorici derivanti dall'assioma, ma introducono tale definizione prima di sviluppare tale teoria.

Potremmo dunque tradurre questo concetto nel seguente modo:

Un processo è reversibile se per invertirlo non si deve violare l'assioma.

Da ciò ne consegue che:

Un processo è irreversibile se per invertirlo si deve violare l'assioma.

Infine gli autori presentano (p. 167) la dimostrazione per assurdo di un teorema che, se fosse valido, sarebbe propedeutico alla definizione della funzione di stato Entropia.

Dato che l'obiezione che si sta per sollevare a questa dimostrazione è di tipo Logico, non è molto importante che il lettore del presente riassunto comprenda tutti i dettagli e i significati delle variabili matematiche coinvolte nel ragionamento degli autori; basterà che egli osservi che l'assioma viene utilizzato due volte di seguito nella dimostrazione.

Gli autori vorrebbero dimostrare la seguente tesi:

*“Entrambi gli stati f_1 e f_2 **non** possono essere raggiunti, partendo dal punto i , tramite processi reversibili adiabatici.”*

Per dimostrare questa tesi utilizzando il principio del terzo escluso, gli autori formulano una ipotesi che è l'opposto della tesi:

*Entrambi gli stati f_1 e f_2 **possono** essere raggiunti, partendo dal punto i , tramite processi reversibili adiabatici.*

Poi essi elaborano il ragionamento per assurdo che si conclude con la constatazione che l'ipotesi avanzata conduce ad una condizione che “... viola l'enunciato Kelvin-Planck.”.

Poiché, secondo gli autori, questa è una “assurdità”, essi concludono che l’ipotesi avanzata è impossibile, per cui deve essere vero l’opposto dell’ipotesi: la tesi deve essere vera.

Ora osserviamo che l’assioma è stato usato due volte di seguito in questo ragionamento: è stato utilizzato (implicitamente) una prima volta per definire il processo adiabatico reversibile, ed è stato utilizzato (esplicitamente) una seconda volta per invocare l’assurdità.

Si può esplicitare il ragionamento di cui sopra come segue:

Noi vogliamo dimostrare che gli stati f_1 e f_2 non possono essere raggiunti tramite trasformazioni reversibili, ovvero trasformazioni tali che quando vengono invertite **non** determinano violazione dell’assioma. Per dimostrare questa tesi noi supponiamo che sia vero il contrario, ma se ciò accadesse lo stesso assioma sarebbe violato..

Questo ragionamento, pertanto, invoca per due volte di seguito non una verità accertata sperimentalmente, bensì una affermazione ipotetica e contingente quale è l’assioma, la quale può essere lecitamente utilizzata per definire la caratteristica di una certa trasformazione termica, ma non può essere affatto utilizzata una seconda volta nel medesimo ragionamento per dichiarare che un differente evento fisico è impossibile.

In conclusione, come si è in precedenza evidenziato, si può dire che la molteplice applicazione di un assioma in uno stesso ragionamento consente la dimostrazione tautologica di qualunque proposizione

Questo è un primo motivo per cui la dimostrazione di cui sopra non può essere ritenuta soddisfacente.

Tuttavia la nostra analisi critica sulla dimostrazione di cui sopra non è ancora terminata, perché è evidente che il ragionamento presentato dagli autori non è soddisfacente per un secondo motivo: è incompleto.

È vero che se fosse vera l'ipotesi allora l'assioma Kelvin-Planck sarebbe violato, ma gli autori hanno dimostrato che tale assioma è equivalente all'assioma di CLAUSIUS.

Dunque, l'ipotesi condurrebbe, in ultima analisi, a violare l'assioma di CLAUSIUS:

“Il calore non può passare da un corpo freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo.”

In definitiva, l'ipotesi determinerebbe il passaggio di calore da un corpo freddo ad uno più caldo senza alcuna compensazione.

Ma si può obiettare che gli autori non hanno preso in esame tutte le possibilità, e che il loro ragionamento si può completare come segue:

Se una quantità di calore è passata da un corpo freddo ad uno caldo, è possibile far tornare da solo tutto questo calore di nuovo al corpo freddo per mezzo del fenomeno naturale della conduzione di calore.

Inserendo per un certo tempo tra corpo caldo e corpo freddo una “resistenza termica”, tutto il calore che fosse stato fatto transitare dal corpo freddo a quello caldo ritornerebbe indietro da solo verso quello freddo, e la situazione tornerebbe esattamente uguale a quella di partenza, “senza che qualche altro cambiamento, con esso connesso, si sia verificato allo stesso tempo” – l'assioma di CLAUSIUS non sarebbe più violato.

I teorici non possono affermare che non si può introdurre la resistenza termica perché ciò equivale a introdurre nel sistema una trasformazione irreversibile: userebbero l'assioma per una seconda volta.

Infatti, l'assioma è stato utilizzato una prima volta per terminare la dimostrazione, e quindi non si può di nuovo invocare un concetto che fa derivare la definizione di irreversibilità dallo stesso assioma.

Come è stato detto, utilizzare più volte un medesimo assioma in un ragionamento consente la dimostrazione tautologica di qualunque proposizione.

In conclusione, non si può ritenere che con ragionamenti simili a quelli usati dagli autori si possa dimostrare, con assoluta certezza, la tesi di un teorema fondamentale per l'intera teoria sul Secondo Principio della Termodinamica – teorema che, se fosse valido, sarebbe propedeutico alla dimostrazione dell'esistenza di una funzione chiamata Entropia e al successivo Principio di Aumento dell'Entropia.

7.36 L'AUMENTO DI ENTROPIA CHE L'UNIVERSO SUBIREBBE AL VERIFICARSI DI UN QUALUNQUE PROCESSO TERMICO

Siamo allora giunti al termine della nostra analisi riguardante la teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica.

Per puro tuziorismo, impieghiamo qualche riga per commentare concetti relativi al Secondo Principio della Termodinamica diventati molto popolari, come, ad esempio, “Il Principio di aumento di Entropia”.

Tale Principio riguarda “l'aumento di Entropia” che subirebbe l'universo ogni volta che da qualche parte si verifica un qualunque processo reale di natura termica.

Gli Autori infatti fanno distinzione tra processi reversibili (immaginari) e irreversibili (reali).

Secondo l'attuale visione, la variazione di Entropia che subirebbe l'universo quando si verifica un qualunque processo, sarebbe data, in generale, dalla sommatoria della variazione di entropia subita dal sistema e da quella subita dai dintorni, includendo anche quelle subite dalle riserve di calore.

Per i processi reversibili, gli Autori credono che la variazione di Entropia così calcolata sia sempre nulla.

Per i processi irreversibili, invece, gli Autori ritengono che la variazione di Entropia dell'universo sia sempre positiva (aumenterebbe ogni volta che si verifica un qualunque processo irreversibile).

Generalmente, gli Autori espongono una serie di esempi di processi irreversibili e, con l'uso del teorema di CARNOT e suoi corollari, mostrano, **matematicamente**, che l'entropia è aumentata al termine di ognuno di tali processi.

Gli Autori ritengono che si possa trarre da tali elaborazioni matematiche un principio generale per l'aumento dell'Entropia, che si può esprimere come segue:

“Tutte le volte che si verifica un processo irreversibile, l'entropia dell'universo aumenta.”

Questo enunciato è noto come “principio di Entropia” e viene solitamente espresso con la seguente espressione matematica:

$$\Delta S(\text{Universo}) \geq 0$$

Secondo gli Autori, il segno di uguaglianza si riferisce soltanto ai processi reversibili, mentre il segno di disuguaglianza a processi irreversibili.

A conclusione di tale riassunto, l'unico commento che per ora ritengo di esporre è che l'espressione matematica di cui sopra è stata dedotta da corollari di quei teoremi che noi abbiamo dimostrato essere non-condivisibili.

7.37 CONCLUSIONI GENERALI CIRCA I MODERNI TESTI DI TERMODINAMICA CLASSICA

Non mi risulta che la teoria dinamica classica del calore abbia subito di recente rilevanti modifiche.

Giunti a questo punto, si può ritenere che i successori dei Padri Fondatori, non essendo in grado di produrre una nuova teoria, hanno tentato di “aggiustare” la traballante impostazione classica di CLAUSIUS, apportandovi una serie di modifiche per renderla sostenibile.

Ma, a mio avviso, la sostenibilità della versione classica del Secondo Principio della Termodinamica può essere condivisa soltanto da chi abbia intenzione di impararla a memoria acriticamente.

Chi, invece, abbia voglia di capire tutte le sue implicazioni fino in fondo, può scoprire, con enorme difficoltà, le irrazionalità e illogicità introdotte nella teoria dai Padri Fondatori e, nel prendere atto dei tentativi dei successori di “rattoppare” la teoria, non può che essere preso dalla disperazione e indotto a strapparsi i capelli.

Ricordiamo, infatti, che già nell'introduzione del presente libro citavamo l'impetoso giudizio di TRUESDELL sulla teoria termodinamica corrente, che qui riportiamo di nuovo per comodità:

“L'esuberanza di oscuri, involuti, e indisciplinati saggi storici sulla termodinamica classica riflette la confusione della teoria stessa. La termodinamica, nonostante la sua lunga storia, non ha mai avuto i benefici di una sintesi magistrale come quella che Eulero diede dell'idrodinamica nel 1757 o quella che Maxwell diede

all'elettromagnetismo nel 1873; l'esposizione, nei lavori di scoperta in termodinamica, si distacca nettamente dalla chiara immediatezza delle note nelle quali Cauchy presentò la sua creazione e sviluppo della teoria dell'elettricità dal 1822 al 1845. La termodinamica è nata nell'oscurità e nel disordine, per non dire confusione, e le usuali rappresentazioni tali sono rimaste.” - prefazione di “Concept and Logic of Classical Thermodynamics as a Theory of Heat Engines”, p. vii

7.38 L'APPROCCIO STATISTICO AL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Nella seconda metà dell'800, la parte della teoria dinamica del calore relativa al Secondo Principio è stata sviluppata anche da un punto di vista statistico, con iniziali contributi dello stesso CLAUSIUS.

A partire dal 1854, la teoria dinamica del calore elaborata da CLAUSIUS, pur contenendo irrazionalità che altri scienziati potevano facilmente rilavare in base alle conoscenze dell'epoca, fu considerata accettabile, perché l'adozione della teoria atomistica e l'idea che il calore fosse associato al movimento delle più minuscole componenti della materia si era rivelata feconda di risultati.

D'altra parte, fin dai primi dell'800 gli studi e gli esperimenti del chimico (e fisico) John Dalton (1766–1844), gli avevano consentito di dimostrare l'esistenza degli atomi e conseguentemente di dare inizio alla teoria atomistica. L'idea fondamentale di tale teoria scientifica, è che la materia sia fatta di particelle microscopiche indivisibili ed indistruttibili, denominate “atomi”.

Tuttavia, la teoria termodinamica sviluppata da CLAUSIUS, sebbene partisse dalla teoria atomistica e dall' *experimentum crucis* di JOULE, prescindeva dal tipo di movimenti delle particelle, e quindi restava irrisolto il quesito di quali fossero le tipologie di movimento microscopico associate al calore.

Lo stesso CLAUSIUS elaborò, al riguardo, una teoria basata sull'ipotesi del moto traslatorio dei corpuscoli costituenti i gas; nel 1857, sulla base di tale ipotesi, pubblicò una memoria con la quale diede una prima valutazione del calore specifico dei gas.

Tale memoria, dal titolo

“Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen”

si può scaricare dal sito

<https://www.e-rara.ch/zuz/doi/10.3931/e-rara-36070>

Ma poiché i valori sperimentali erano sensibilmente maggiori di quelli da lui calcolati, egli ne dedusse che le molecole dovevano essere animate da moti vibratori e rotatori, oltre a quelli traslatori.

Successivamente, nel 1858, per replicare alle obiezioni di un altro scienziato, CLAUSIUS pubblicò la memoria *“Über die mittlere Länge der Wege...”* (Sulla lunghezza media delle traiettorie...) nella quale introduceva un concetto fino ad allora non considerato, ovvero, la determinazione “statistica” di una grandezza fisica: “il cammino libero medio” delle molecole, definito come la distanza che, in media, una molecola percorre tra due urti consecutivi con altre molecole.

Il link per questa pubblicazione è il seguente:

<https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-56727>

Anche questo studio, come il precedente, si basava, tra l'altro, sull'ipotesi che gli urti tra le particelle fossero elastici, ovvero, senza perdita di energia, come può accadere nelle collisioni tra sfere fatte di materiale perfettamente rigido. Questa ipotesi consentiva di prescindere da qualunque considerazione relativa alle forze intermolecolari durante gli urti.

Questo di CLAUSIUS fu un passo decisivo per orientare i successivi studi verso l'impostazione statistica dei problemi di termodinamica.

MAXWELL riprese questi concetti espressi da CLAUSIUS, per sviluppare una teoria cinetica dei gas basata sulle probabilità delle collisioni tra molecole, con la sua memoria

“*Illustrations of the Dynamical Theory of Gases*”, 1860,

rintracciabile nel sito:

www.worldscientific.com

e poi con altri articoli, come ad esempio quello dal titolo:

“*On the Dynamical Theory of Gases*”, *Philosophical Transactions*, Lond. 1867 157, 49-88,

rintracciabile al link:

<http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/157/49.full.pdf+html>

o anche

<https://archive.org/details/philtrans09804550>

Anche MAXWELL, come CLAUSIUS prima di lui, aveva supposto che gli urti tra le molecole fossero perfettamente elastici. Tuttavia, poiché i dati sperimentali non coincidevano con la teoria, egli sostituì il modello delle sfere microscopiche rigide con quello dei centri di forza repulsivi.

MAXWELL, inoltre, fece un altro passo decisivo verso la rappresentazione statistica dei comportamenti dei gas, abbandonando l'approccio di CLAUSIUS sul cammino libero medio, adottando, al suo posto, metodi matematici più potenti. Secondo tale nuova concezione, i gas venivano descritti come insiemi statistici di particelle, per le quali ci si poneva il problema di determinare la distribuzione delle velocità.

Come si è detto in precedenza, il fisico e matematico austriaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844–1906) riprese il lavoro di MAXWELL e cercò di generalizzarlo per dare una dimostrazione matematica del secondo teorema della termodinamica.

Risulta che l'approccio di BOLTZMANN a questo problema sia mutato nel tempo: nel 1866, egli sosteneva che la seconda legge della termodinamica poteva essere provata soltanto con i teoremi della meccanica; molti anni più tardi, invece, affermava che questi teoremi non erano in grado di fornire tale prova ma che essa doveva essere ricercata usando metodi statistici.

Nel 1872, BOLTZMANN pubblica la memoria destinata ad entrare nella storia della scienza, dal titolo:

“*Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen*” (Further studies on the thermal equilibrium of gas molecules).

La quale può essere scaricata da:

<https://sites.google.com/site/articleshistoriques/theorie-cinetique/Boltzmann1872.pdf?attredirects=0>

In questa memoria, BOLTZMANN espone il suo “teorema del minimo”, diventato poi famoso con il nome di teorema-H.

Per sviluppare il suo ragionamento, BOLTZMANN immagina di racchiudere un gas all'interno di un recipiente, il quale deve avere pareti ideali, tali da riflettere perfettamente le singole molecole che dovessero urtarlo.

Inoltre, le molecole del gas preso in considerazione sono costituite da sfere rigide, per cui gli urti tra molecole sono elastici (nessuna perdita di energia nel singolo urto).

In sintesi, il lavoro di BOLTZMANN mostra che quando un gas si trova inizialmente in una condizione di non-equilibrio interno, ovvero le particelle hanno una qualunque distribuzione delle velocità, l'insieme tende a raggiungere una condizione di equilibrio termico dalla quale (in media) non può più autonomamente distaccarsi.

Egli dimostra che questo corrisponde ad un valore minimo di una grandezza da lui chiamata H , che corrisponde ad una funzione di “distribuzione stazionaria” (poi denominata di Maxwell-Boltzmann) per le variabili dalle quali dipende l'energia di una particella.

La “distribuzione stazionaria” di BOLTZMANN è una funzione che fornisce la probabilità di trovare, in tali condizioni di equilibrio finale, una molecola con una determinata energia.

Successivamente, BOLTZMANN perfezionò la teoria, dimostrando che la funzione di distribuzione era l'unica possibile.

Insomma, la citata memoria di BOLTZMANN creava una similitudine tra la variazione della grandezza H e la variazione di entropia di un sistema che, partendo dal disequilibrio termico, veniva condotto dalla moltitudine degli urti tra molecole verso l'equilibrio termico. L'unica differenza era che in questo processo la grandezza H diminuiva mentre l'entropia aumentava.

Sembrava così risolto il problema di dimostrare, con metodi statistici, il secondo teorema fondamentale della termodinamica.

Questa interpretazione di BOLTZMANN fu contestata da alcuni critici, come ad esempio il suo più giovane collega Johann Josef Loschmidt (1821–1895), il quale sosteneva che equazioni invarianti rispetto all'inversione del tempo (o reversibili rispetto al tempo) non potessero descrivere un fenomeno irreversibile (il c.d. “paradosso della reversibilità”).

BOLTZMANN dovette ammettere che la seconda legge della termodinamica non è dimostrabile matematicamente a partire dalle equazioni della dinamica, e che egli aveva solo dimostrato che è altamente probabile che la grandezza H abbia una maggiore probabilità di evolvere in un certo verso rispetto a quello opposto.

Altri oppositori, come Henri Poincaré (1854–1912) e Ernst Zermelo (1871–1953), formularono in modo diverso la medesima obiezione

di cui sopra, adducendo l'argomento che un sistema puramente meccanico deve, prima o poi, ripassare ad uno stato molto vicino a quello iniziale.

BOLTZMANN tentò di rispondere anche a queste obiezioni, sostenendo che il ritorno ad una condizione vicina a quella iniziale si potrebbe avere soltanto dopo un tempo enorme, tanto più lungo quanto più grande è il numero di molecole considerate.

BOLTZMANN muore nel 1906, quando la Comunità Scientifica dell'epoca non ha ancora accettato le evidenze sperimentali che imponevano alla fisica quel drastico cambio di approccio alla realtà che avrebbe portato alla meccanica quantistica.

Come ora vedremo, la teoria statistica sulla seconda legge della termodinamica di BOLTZMANN resta ancorata alla fisica classica del suo tempo.

La linea di demarcazione tra la vecchia fisica classica ottocentesca e la nuova fisica quantistica, si può collocare tra il 1900 e il 1909 e fu determinata dall'esito di due **esperimenti determinanti**.

Il primo esperimento mise in evidenza la discrepanza tra i dati sperimentali e i valori calcolati con la teoria classica di un fenomeno naturale: la radiazione del cosiddetto “corpo nero”.

Il secondo fu l'*experimentum crucis* effettuato da Hans Wilhelm Geiger e Ernest Marsden sotto la guida di Ernest Rutherford.

Quanto al primo esperimento, si definisce “corpo nero” un corpo ideale (non realmente esistente) in grado di assorbire il 100% della radiazione elettromagnetica che vi incide.

Siccome l'energia si conserva, allora le “pareti” del corpo nero devono ri-emettere la stessa quantità di energia, ma questo avviene tramite l'emissione di una serie di onde elettromagnetiche il cui spettro in frequenza è indipendente da quello delle onde incidenti. In laboratorio, si può approssimare la condizione ideale del corpo nero

con un oggetto cavo (una sfera), la cui temperatura è mantenuta costante e controllabile. Le radiazioni incidenti vengono fatte entrare da un piccolo foro.

Si pone il problema di determinare come varia, in funzione della temperatura, lo spettro delle frequenze che le pareti generano al suo interno.

Il problema divenne importante per la fisica, quando ci si rese conto che lo spettro in frequenza di questo tipo di radiazione, calcolato con la teoria classica, era inverosimile e i dati sperimentali divergevano in modo clamoroso da quelli teorici.

Siccome lo spettro di emissione previsto dalla teoria classica era continuo (il contenuto di frequenze era infinito), il contenuto di energia di tutto lo spettro calcolato teoricamente dava un valore infinito (la c.d. “catastrofe ultravioletta”).

PLANCK, preso dalla disperazione, decise di introdurre l'ipotesi che le differenze tra frequenze contigue di tale radiazione dovessero corrispondere a valori finiti (non infinitesimi), ottenendo, in tal modo, una aderenza quasi perfetta tra i nuovi valori teorici e i dati sperimentali.

Il citato articolo di PLANCK era intitolato:

“Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum”, Ann. Der Physik, 4 (1901), pp. 553-563.

La traduzione in Inglese dal titolo *“On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum”* è rintracciabile in:

<http://strangepaths.com/files/planck1901.pdf>

Il secondo esperimento determinante, l'**experimentum crucis** di Rutherford, mise in evidenza l'erroneità della struttura dell'atomo prevista dalla fisica classica (una struttura omogenea), e consentì poi al fisico Danese Niels Bohr (1885-1962) di concepire un modello di

atomo composto da elementi discreti, separati tra loro sia fisicamente che dal punto di vista energetico.

Sono queste le premesse per le prime teorie quantistiche che rendono conto sostanzialmente di un dato di fatto: le interazioni tra i componenti più minuti della materia sono quantizzate, ovvero, avvengono per differenze finite (non infinitesime) di energia.

BOLTZMANN non poteva sapere tutto questo quando elaborò i suoi teoremi, e quindi la sua spiegazione dell'irreversibilità, basata sulla collisione di molecole assimilate a sfere rigide, non può essere corretta.

Anche ai nostri giorni si continua a discutere se i metodi statistici siano in grado di spiegare la causa dell'irreversibilità di tutti gli eventi macroscopici.

Sulla questione è intervenuto il fisico Mario Ageno (1915-1992), ritenuto uno dei più importanti biofisici italiani. Nel suo libro dal titolo molto significativo *“Le origini della irreversibilità”* (Ed. Bollati Boringhieri, 1992), AGENO ha esposto quella che, a suo avviso, è la vera spiegazione dell'irreversibilità dei fenomeni naturali.

In primo luogo, secondo AGENO (p. 75-76):

“... il modello ideale di BOLTZMANN è pensabile come esemplare di un insieme statistico “privo di dispersione”, mentre il modello schematizzato mediante l'introduzione di una funzione di distribuzione non lo è: ... Cambia così in modo sostanziale la natura fisica del sistema rappresentato.”

Dopo aver evidenziato questa contraddizione interna del metodo statistico di BOLTZMANN, AGENO aggiunge quella che sembra essere la sua considerazione fondamentale da tenere presente nello sviluppo di una teoria termodinamica statistica. A Pag. 184 - 185 troviamo infatti quanto segue:

*“... è apparso chiaro che non è realizzabile fisicamente quel concetto di “sistema isolato”, su cui è basato ogni sviluppo della termodinamica classica. Si è visto come tale concetto non sia neppure un concetto limite, come tanti altri di cui fa uso la fisica per lo sviluppo delle sue teorie, ma sia invece propriamente un **concetto non-fisico**, in quanto non può essere approssimato al di là di un limite discreto, ben preciso. Il riconoscimento di questo fatto ci ha portato a vedere da un nuovo punto di vista, sotto una nuova luce, il secondo principio della termodinamica. ... Tale significato fisico profondo è, appunto, l'impossibilità di realizzare fisicamente un sistema limitato, che sia anche completamente isolato. Il passaggio chiave che da questa impossibilità porta alla irreversibilità di tutti i processi a livello macroscopico consiste nel fatto che le residue interazioni con l'esterno di qualunque sistema materiale, in linea di principio inevitabili, sono quelle col campo elettromagnetico. ... Se schematizziamo le pareti della cavità come superfici piane perfettamente riflettenti per la radiazione elettromagnetica contenuta nell'interno della cavità stessa, è ben noto fin dai tempi di Kirchhoff che l'equilibrio termodinamico non viene raggiunto: la cavità è infatti semplicemente una cavità risonante. Perché l'equilibrio termodinamico venga effettivamente raggiunto, è però sufficiente introdurre nella cavità un pizzico di nerofumo, capace di assorbire e rimettere la radiazione su esso incidente.”*

È anche molto interessante notare che AGENO aggiunge:

“Si vede dunque come le conclusioni a cui siamo pervenuti non siano in fondo nulla di veramente nuovo.”

AGENO ha ragione, infatti, come era noto anche al tempo di BOLTZMANN (grazie alla teoria classica dell'elettromagnetismo sviluppata verso gli anni 1856–1864 da MAXWELL), nel momento in cui una carica elettrica viene accelerata si genera una radiazione elettromagnetica.

Oggi sappiamo che tale emissione si verifica anche durante ogni urto tra atomi e molecole, e questo avviene perché questi microscopici componenti della materia sono portatori di dipoli elettrici. Nel momento in cui vi è uno scontro tra atomi o molecole, i relativi dipoli elettrici vengono perturbati, cambiano di velocità o ruotano, e corrispondentemente una radiazione elettromagnetica (radiazione di dipolo elettrico) viene emessa. È l'insieme di queste singole radiazioni che, rimbalzando e degradandosi energeticamente fino ad un punto-limite che dipende solo dalla temperatura, costituisce infine, all'interno del corpo cavo usato in laboratorio, la radiazione di corpo nero.

In termini semplici, è come se gli urti tra molecole non fossero perfettamente elastici (come invece avviene per urti tra sfere rigide).

La costanza della radiazione di corpo nero deriverebbe semplicemente dalla continua successione di eventi di guadagno e perdita di energia dove, però, un evento non è necessariamente compensato in modo esatto dal successivo.

Questi concetti, relativi all'irreversibilità causata dalla radiazione elettromagnetica, erano già stati espressi da PLANCK.

Ma bisogna ricordare che nel 1906 (anno della scomparsa di BOLTZMANN) l'esistenza degli atomi era ancora oggetto di dibattito tra la Comunità Scientifica, e quindi poco o nulla si sapeva della struttura di atomi e molecole. Sono questi i fatti che BOLTZMANN non poteva sapere e sono queste le ragioni che rendono non condivisibile la sua teoria per la dimostrazione matematica del Secondo Principio della Termodinamica.

Possiamo usare queste considerazioni per andare oltre il limite che si è imposto AGENO: l'esistenza della radiazione di corpo nero rende impossibile concepire quel perfetto isolamento di un qualunque sistema dal resto dell'universo – isolamento che invece è di

fondamentale importanza, sia per i teoremi sviluppati dai Padri Fondatori che per la teoria statistica sviluppata da BOLTZMANN ed altri.

Questi ultimi, infatti, ritenevano che il recipiente contenesse ermeticamente sia l'insieme di molecole che la loro energia complessiva.

7.39 SUPERAMENTO DEL LIMITE PROPOSTO DA MARIO AGENO E PROPOSTA DI UN NUOVO ASSIOMA

A differenza di quanto argomenta AGENO, gli eventi naturali si svolgono in assenza di qualunque “recipiente” e quindi attribuire l'irreversibilità dei fenomeni naturali agli urti delle molecole con le pareti del recipiente è limitativo, perché la radiazione termica si genera anche a causa di urti tra molecole.

Bisogna infatti ricordare che il corpo nero, oggetto di studio in laboratorio, deve essere mantenuto in un termostato, perché è solo così che si può mantenere costante, al suo interno, la radiazione di corpo nero.

Senza tale termostato, la radiazione di corpo nero assumerebbe, prima o poi, lo spettro appartenente alla radiazione termica esterna (del resto dell'universo).

Se dunque consideriamo, ad esempio, un insieme di molecole dell'atmosfera non racchiuso ermeticamente in un involucro (una porzione ideale), e vogliamo studiare con metodi statistici la sua evoluzione a partire da una condizione di non-equilibrio termico “interno”, non possiamo ignorare l'esistenza di un continuo interscambio di energia elettromagnetica tra questo insieme e il “resto dell'universo” dovuto agli urti tra le molecole.

Del resto, poco cambierebbe, circa tale interscambio, se la porzione ideale di atmosfera fosse effettivamente racchiusa in un recipiente

fisico non termostato; la differenza consisterebbe soltanto in una maggiore inerzia ai cambiamenti.

Queste riflessioni inducono a ritenere che la teoria statistica avrebbe la potenzialità di dimostrare, matematicamente, l'esistenza di una funzione (che si potrebbe anche chiamare Entropia) destinata a crescere (o a non decrescere) in occasione di eventi naturali, in accordo con la seconda parte del Secondo Principio della Termodinamica.

Attenzione, però, una tale “dimostrazione” non costituirebbe la scoperta, per via matematica, di un principio fisico, ma dovrebbe essere considerata solo come un corollario (una conseguenza) di un vero principio fisico, che potrebbe essere assunto come uno degli assiomi che dovrebbero essere adottati per sviluppare la nuova termodinamica razionale. Tale assioma dovrebbe essere espresso come segue:

“La radiazione elettromagnetica spontanea dei corpi macroscopici non può essere annullata.”

Queste nostre conclusioni sembrano essere coerenti con quelle usate da AGENO per terminare il suo libro.

A pagina 189, infatti, troviamo quanto segue:

“Vogliamo, infine, concludere, osservando che il nuovo quadro interpretativo del secondo principio della termodinamica e delle origini della irreversibilità dei processi macroscopici offre finalmente, col riconoscimento del carattere stocastico delle “perturbazioni” residue inevitabili, un fondamento razionale all'impiego di metodi probabilistici nella meccanica statistica e più in generale nella fisica classica.”

Ricordiamo, tuttavia, che il Secondo Principio della Termodinamica è diviso in due parti: La parte “reversibile”, relativa alla funzione di

stato generalizzata “Entropia”, e la parte “irreversibile”, relativa al principio di “aumento” dell'Entropia.

Ma mentre la prima parte è relativa a trasformazioni ideali, in realtà inesistenti, la seconda è relativa a tutte le trasformazioni che si verificano in Natura.

Se questo è vero, allora la parte più importante del Secondo Principio non dovrebbe essere la prima, come si è finora ritenuto, ma la parte irreversibile, per la quale, però, la termodinamica di CLAUSIUS, qualora mai fosse condivisibile, sarebbe, a dir poco, di scarsissima utilità.

Finalmente, la termodinamica statistica si occupa soltanto della seconda parte (le trasformazioni naturali) e non più di macchine termiche, al contrario della termodinamica classica, che parte dalle macchine termiche per estendere (erroneamente) i teoremi anche alle trasformazioni naturali.

Se dunque la termodinamica statistica si occupa delle sole trasformazioni naturali, non possiamo estendere i suoi teoremi alle macchine termiche.

Come abbiamo visto, il teorema di CARNOT è stato usato per definire sia la funzione di stato Entropia, sia il principio di aumento dell'Entropia.

Ora che il teorema di CARNOT non ha più una soddisfacente dimostrazione, viene meno la possibilità di sfruttarlo per definire la funzione di stato generalizzata Entropia.

Quindi bisogna chiedersi se la termodinamica atomistica consenta di colmare questo deficit, arrivando a definire una tale la funzione generalizzata di stato. Se così fosse, la parte reversibile del Secondo Principio potrebbe trovare una diversa interpretazione teorica.

Si può tuttavia ritenere, con ragionevole sicurezza, che i presupposti della termodinamica atomistica non consentano di ideare un teorema

che possa ritenersi equivalente al teorema di CARNOT o, ciò che è la stessa cosa, consentirci di determinare il massimo rendimento teorico tra due temperature.

Sta quindi a Voi, lettori del futuro, trarre da tutto ciò le dovute conclusioni e porre in atto le giuste azioni.

7.40 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che le considerazioni dell'autore di cui sopra sono errate.

7.41 LA TERMODINAMICA ASSIOMATICA DI CARATHÉODORY

Alcuni Testi dedicano qualche paragrafo alla termodinamica assiomatica di Carathéodory.

Abbiamo visto che la teoria dinamica sviluppata da CLAUSIUS ha iniziato ad essere condivisa dalla Comunità Scientifica a partire dalla pubblicazione della sua memoria del 1854.

Successivamente, vi sono stati tentativi di derivare le leggi della termodinamica, e in particolare il Secondo Principio, per via puramente matematica. L'ingegnere e matematico greco Carathéodory Constantin (1873–1950) usò un approccio denominato “Assiomatico”.

C'è da osservare che per sviluppare i teoremi matematici di tal genere, ovvero senza fare riferimento alle macchine termiche, è comunque necessario il ricorso a qualche assioma o principio di natura fisica.

Informazioni circa il metodo assiomatico si possono trovare, ad esempio, nella notevole tesi di laurea “*Formulazione Assiomatica della Termodinamica*” dovuta al Dott. Giuseppe De Nittis, (1977) – supervisore Professor Giovanni Morchio, relatore il Professor Enore

Guadagnini (Università di Pisa). Questa pubblicazione è reperibile in formato Adobe Acrobat Reader al seguente indirizzo:

https://gdenittis.files.wordpress.com/2013/02tesii_denittis.pdf

Secondo tale tesi, fu il fisico tedesco Max Born (1882–1970), poi naturalizzato britannico e Premio Nobel per la Fisica nel 1954, a sollecitare CARATHÉODORY a derivare le leggi della termodinamica per una diversa via matematica.

Estraiamo dalla tesi di DE NITTIS i Principi dedotti tramite gli sviluppi matematici di CARATHÉODORY, il quale usò le equazioni differenziali in forma di Pfaff, ritenute basilari per la descrizione dei fenomeni in termodinamica. Il primo è il c.d. Principio 1, o principio zero della termodinamica, poi il Principio 2, o primo principio della termodinamica, poi il Principio 3, o principio di conservazione dell'energia, poi il Principio 4, o Secondo Principio della termodinamica, poi il Principio 6, o aumento dell'entropia, poi il Principio 7, o enunciato di CLAUSIUS del Secondo Principio, poi il Principio 8, o enunciato di Kelvin-Planck del Secondo Principio.

Alla base di tutto questo (vedi la Tesi, Pagina iii del Capitolo “*Sintesi dei Risultati*”), c'è un assioma valido per le trasformazioni reversibili, così espresso:

“Come conseguenza di ripetute osservazioni sperimentali è lecito postulare che, infinitamente vicino ad ogni stato di equilibrio di un sistema termodinamico, vi sono altri stati di equilibrio che non sono raggiungibili tramite trasformazioni adiabatiche (1); questa è esattamente una condizione di irraggiungibilità sull'equazione di Pfaff (8).”

Questo è il postulato di irraggiungibilità di CARATHÉODORY.

Nella nota (1), DE NITTIS precisa che:

“Come sarà dimostrato nel Paragrafo 3.3, la richiesta di irraggiungibilità è già contenuta nell'enunciato del Secondo

Principio della termodinamica dato da Kelvin e Planck, e come tale non aggiunge nulla di nuovo alle ipotesi minime che stanno alla base della formulazione classica della termodinamica”.

Per giungere a formulare il Secondo Principio anche per le trasformazioni irreversibili, viene introdotto un altro postulato più forte (motivo per cui questa seconda versione viene denominata: “Secondo Principio in forma forte”).

Lo stesso DE NITTIS precisa, nella nota (3), che:

“Anche la versione “Forte” del postulato è già contenuta nell'enunciato di Kelvin-Planck”.

Se dunque alla base dei teoremi di CARATHÉODORY ci sono principi in qualche modo già contenuti negli enunciati dovuti a KELVIN e PLANCK, non c'è nessuna meraviglia che la termodinamica assiomatica giunga alle stesse conclusioni della termodinamica classica.

Del resto, è lo stesso DE NITTIS che, a Pagina iii così commenta:

“I risultati così ottenuti non aggiungono nulla di nuovo alle conoscenze della termodinamica “tradizionale”, tuttavia il lavoro di Carathéodory sintetizza tutte le conseguenze fisiche in un'unica, rigorosa teoria matematica; l'esistenza delle superfici isoentropiche non dipende dalle proprietà dei cicli di Carnot (fondamentali nel lavoro di Clausius), essa è una conseguenza naturale delle proprietà delle equazioni di Pfaff che sono alla base della descrizione dei fenomeni termodinamici”.

Mentre a pagina 61, DE NITTIS precisa ancora:

“La teoria assiomatica di Carathéodory non è solo formalmente più elegante della teoria classica, ma è anche più profonda; accettando il Principio di Kelvin-Planck, in virtù dei due Teoremi di Carathéodory, la teoria di Clausius risulta semplicemente un'ovvia conseguenza.”

Bisogna dire che il lavoro di Carathéodory è stato oggetto anche di numerose critiche; per molti critici l'assiomatizzazione della termodinamica è da ridursi al semplice rango di diletto matematico, mentre i meriti di CARATHÉODORY non vanno oltre a quelli di avere dimostrato un “bel teorema sulle equazioni di Pfaff”.

Una decisa critica nei confronti della termodinamica assiomatica di CARATHÉODORY si trova in “*Rational Thermodynamics*” - Second Edition Ed. Springer-Verlag, 1984 di Clifford Truesdell (p. 49-57).

In sintesi, CARATHÉODORY utilizza l'assioma Kelvin-Planck e, tramite teoremi basati sul postulato di irraggiungibilità, già contenuto nell'assioma Kelvin-Planck, ne trae sostanzialmente la teoria di CLAUSIUS.

A ben vedere, quello di CARATHÉODORY non sembra un risultato degno di nota.

In conclusione, la termodinamica assiomatica di CARATHÉODORY non sembra solo inaccettabile dal punto di vista fisico, in quanto deriva i principi della termodinamica con metodi matematici, ma è inaccettabile anche nel merito, in quanto non è altro che una formulazione tautologica, particolarmente elaborata, dell'assioma di CLAUSIUS.

7.42 LE PROPRIETA' TERMODINAMICHE DI SOSTANZE PURE E LA LORO IPOTETICA UTILIZZAZIONE PER LA VERIFICA NUMERICA DEL TEOREMA DI CARNOT

Qualcuno, tra i più esperti lettori del presente libro, potrebbe concepire l'idea di usare metodi numerici per verificare che il teorema di CARNOT è vero.

Questa verifica si potrebbe fare calcolando il rendimento del ciclo di CARNOT sulla base delle proprietà termodinamiche di varie sostanze.

È stata proprio questa, infatti, l'idea che mi guidò, negli anni '90, nel concepimento e nella scrittura di un libro intitolato “*Riflessioni sulla potenza motrice del calore ambientale – e – sulle macchine idonee a sviluppare questa potenza*”, pubblicato, nel 1993, dal cessato Astrolabium, ora revisionato, tradotto in Inglese e ripubblicato come eBook dal titolo “*Reflections on the Motive Power of the Environmental Heat – and on the engines suitable for producing this power*”.

Esistono, invero, numerose pubblicazioni che riportano le proprietà termodinamiche di elementi chimici e sostanze pure sotto forma di tabelle, equazioni di stato e anche programmi di calcolo computerizzato.

Il capostipite di tali pubblicazioni è il rapporto dovuto a A.L. Gosman, R.D. McCarty, e J.G. Hust, pubblicato nel 1969 come rapporto National Standard Reference Data Series – National Bureau of Standards 27, con il titolo “*Thermodynamic Properties of Argon From the Triple Point to 300 K at Pressures to 1000 Atmospheres*”, ora reperibile in Rete.

Con quel rapporto, gli autori volevano fornire ai ricercatori una sintesi di tutti i dati disponibili sull'Argo in modo tale da eliminare le discrepanze che sono inevitabilmente presenti nei dati sperimentali di varia provenienza.

Gli autori riuscirono anche a definire un'equazione di stato specializzata per l'Argo, che consentiva di ricavare valori intermedi tra quelli tabulati delle proprietà di questo elemento chimico.

Partendo dall'equazione di stato, fu possibile determinare le proprietà termodinamiche derivate dell'Argo: energia interna, entalpia e entropia.

Nel seguito faremo riferimento a questa pubblicazione come NBS-27.

L'NBS-27 divenne un caposaldo nel settore e di esempio per successivi lavori analoghi relativi ad altri fluidi puri.

Per ulteriori ragguagli su questo argomento, è utile consultare la collana in 10 volumi di Rabinovich V.A., Vasserman A.A., Nedostup V.I., Veksler L.S. (1988) “*Thermodynamic Properties of Neon, Argon, Krypton and Xenon*”, National Standard Reference Data Service of the USSR, English Ed. Theodore B. Selover Jr., Hemisphere Publishing Corp.

Studi più recenti sono stati pubblicati nel Journal of Physical and Chemical Reference Data.

Nel 1994 il National Institute of Standards and Technology (NIST) ha rilasciato il programma computerizzato in FORTRAN denominato MIPROPS, il quale consente di calcolare le proprietà termodinamiche di diverse sostanze pure.

Inoltre, sempre il NIST ha rilasciato il programma NIST 12 che, a differenza del MIPROPS, può essere incorporato in programmi di calcolo personalizzati.

Avendo a disposizione questa massa di tabelle ed equazioni di stato relative alle citate sostanze pure, si può pensare di utilizzarla per calcolare il rendimento del ciclo di CARNOT per via numerica.

L'idea è quella di verificare se, variando le differenze di temperatura e pressione di tale ciclo, il rendimento calcolato numericamente si mantenga vicino ai valori stabiliti dalla teoria dinamica attualmente condivisa.

Poiché l'argomento qui trattato sta diventando troppo tecnico, ho ritenuto opportuno riportarlo con maggiori dettagli in Appendice C, per cui lo riassumo ora come segue.

Questo mio studio è iniziato nel 1990. Decisi di utilizzare i dati delle citate fonti bibliografiche per calcolare il rendimento di vari cicli termodinamici ideali o reversibili eseguiti da alcuni gas.

Iniziai con l'Argo, sfruttando i dati del NBS-27.

Riuscii a elaborare alcuni programmi computerizzati scritti in linguaggio simbolico GWBASIC, i quali incorporavano l'equazione di stato dell'Argo tratta dal NBS-27 e, tramite la digitazione dei dati fondamentali del ciclo da esaminare, calcolavano per via numerica il rendimento di alcuni cicli termodinamici in base al Primo Principio della Termodinamica.

Sono stati considerati i cicli seguenti:

- 1) Ciclo di Carnot;
- 2) Ciclo di Stirling senza recuperatore di calore;
- 3) Ciclo di Stirling con recuperatore perfetto di calore;
- 4) Ciclo di Ericsson senza recuperatore di calore;
- 5) Ciclo di Ericsson con recuperatore perfetto di calore.

Variando i dati fondamentali di temperatura e pressione inseriti nei programmi, trovai che alcuni cicli reversibili, in particolari condizioni di temperatura e pressione, presentavano un rendimento quasi doppio rispetto a quello del ciclo di Carnot nelle stesse condizioni calcolato con lo stesso metodo numerico.

Si trattava di cicli termodinamici ideali di Ericsson con recuperatore perfetto di calore eseguita da Argo in fase gassosa poco al di sopra della sua temperatura critica.

Ciò che fu sorprendente, era il fatto che solo il ciclo di Ericsson con recuperatore perfetto faceva registrare valori “anomali” di

rendimento, mentre se nella stessa zona sopra-critica si eseguiva lo stesso calcolo numerico del rendimento per il ciclo di Stirling con recuperatore perfetto di calore, i valori risultanti erano perfettamente coincidenti con il rendimento previsto dalla teoria classica del calore.

Fu soltanto molto tempo dopo la pubblicazione di quel libro, che mi resi conto che la perfetta coincidenza tra i valori di rendimento calcolati per i cicli senza recuperatore di calore, e quelli previsti dalla teoria, era determinata dal modo in cui la Scala Termodinamica Assoluta di Temperatura di KELVIN era stata definita.

Non è possibile, in questa Sezione del presente libro dedicata al lettore generico, spiegare compiutamente le motivazioni di quella mia presa di coscienza.

Questo richiederebbe la lettura di un apposito paragrafo riportato in Appendice C.

Tuttavia è possibile almeno spiegare in modo succinto le suddette motivazioni, riassumendo qui alcuni concetti estratti da quel paragrafo in Appendice C.

Partiamo da un punto fermo: la Comunità Scientifica ha accettato la definizione della scala assoluta di temperatura che scaturisce proprio da un corollario del teorema di CARNOT che consiste nella seguente equazione:

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2$$

In cui T_2 è la temperatura della sorgente calda, T_1 quella della sorgente fredda, Q_2 la quantità di calore scambiata dalla sorgente calda e Q_1 quella scambiata dalla sorgente fredda.

La scala di KELVIN viene resa operativa assumendo che T_2 sia la temperatura di un Punto di Riferimento convenzionale di temperatura caratterizzato dal fatto di essere molto stabile.

Tale punto di riferimento è quello del Punto Triplo dell'acqua, al quale si assegna il valore convenzionale di 273,16 K (gradi Kelvin).

Poi si immagina che un ciclo di CARNOT si svolga tra la temperatura da “misurare” e quella del punto triplo dell'acqua.

Tramite semplici operazioni algebriche, questa scala di temperatura viene resa operativa. L'equazione seguente consente questa operatività:

$$T = 273,16 Q/Q_{TP}$$

Dove T è il valore della temperatura espressa in K (gradi Kelvin) del corpo di cui si vuole misurare la temperatura; Q_{TP} è la quantità di calore scambiata dal punto di riferimento e infine Q è la quantità di calore scambiata dal corpo di cui si vuole misurare la temperatura.

Pertanto, il valore espresso in K (gradi Kelvin) della temperatura incognita T, si ottiene dal prodotto del fattore fisso 273,16 moltiplicato per il rapporto Q/Q_{TP} , ottenuto sperimentalmente, delle due quantità di calore che vengono scambiate da un ciclo di CARNOT che si svolge tra la temperatura incognita e la temperatura del punto triplo dell'acqua.

Ciò premesso, questo criterio è stato applicato con estremo rigore da parte degli autori del Rapporto NBS-27, e poi da tutti gli altri autori di Rapporti simili.

Pertanto, con l'ausilio dei dati di detti Rapporti, non si potrà mai trovare alcun ciclo di CARNOT che presenti un rendimento diverso da quello previsto dalla teoria che deriva dal teorema di CARNOT.

L'inevitabile conclusione è che anche il ricorso alle tabelle delle proprietà termodinamiche di sostanze pure, non è in grado di fornire ciò che desideriamo: Verificare se il rendimento del ciclo di CARNOT sia determinato soltanto dalle due temperature di funzionamento, così come si pretende che sia in base al teorema di CARNOT.

È rimasta aperta, a mio avviso, la questione dei valori del rendimento “anomalo” del ciclo di Ericsson dotato di recuperatore perfetto di calore da me calcolati per via numerica.

Che io sappia, tale questione è stata affrontata soltanto da un fisico: Il Dott. Leonardo Chiatti, ma attendo di essere smentito se ve ne sia qualche altro.

7.43 CENNO SULLA MEMORIA DEL DOTTOR LEONARDO CHIATTI

IL Dr. Leonardo Chiatti è un Dirigente fisico del Servizio Sanitario Nazionale Italiano in servizio presso la A.U.S.L. di Viterbo (Italia), ed ha pubblicato su più di una rivista scientifica online una memoria intitolata “*Considerations About the Anomalous Efficiency of Particular Thermodynamic Cycles*” (Considerazioni sulla Anomala Efficienza di Particolari Cicli Termodinamici).

Questo lavoro può essere rintracciato, ad esempio, nella rivista online “*Electronic Journal of Theoretical Physics*” EJTP, 9 (2006) 95-115, al seguente indirizzo web:

www.ejtp.com/articles/ejtpv3i9p95.pdf

In tale memoria, CHIATTI contesta la realtà dei citati valori “anomali” di rendimento dei cicli ideali di Ericsson con recuperatore perfetto di calore.

Non sono d'accordo con i ragionamenti sviluppati da CHIATTI al riguardo, e nel presente libro intendo presentare le mie controdeduzioni. Ma dato che la comprensione di tutte le mie osservazioni rischia di sfuggire al lettore generico, le ho confinate in Appendice A.

In questa parte principale del libro mi limito alle seguenti considerazioni circa suddetta la memoria di CHIATTI.

In primo luogo, provare tramite un ragionamento che un esperimento che contraddice un Principio Fisico non lo può invece violare, è contrario al Metodo Scientifico.

Inoltre, come abbiamo visto in precedenza, la scala termometrica assoluta è basata sul teorema di CARNOT, del quale non abbiamo finora trovato una dimostrazione condivisibile.

Detta scala, inoltre, presenta gli aspetti irrazionali precedentemente evidenziati circa la definizione di temperatura assoluta.

Pertanto, mentre nel 1993 mi affidai ai dati del Rapporto NBS-27 e agli altri analoghi, per calcolare il rendimento di cicli di Ericsson con recuperatore, al giorno d'oggi mi rendo conto che all'epoca fui ingenuo, e che le suddette irrazionalità presentate dalla scala assoluta di KELVIN non consentono di stabilire se quei miei calcoli siano esatti o errati.

A mio avviso, lo stesso argomento vale per i ragionamenti sviluppati da CHIATTI, il quale, infatti, nella sua memoria di contestazione ha dovuto fare ricorso a equazioni nelle quali figura la temperatura assoluta.

Quindi, la questione dell'esistenza o meno di cicli di Ericsson dotati di recuperatore perfetto di calore con rendimento superiore a quello di CARNOT, potrà essere risolta soltanto dopo che sarà stato realizzato l'intero riordino della teoria dinamica del calore e la ridefinizione della scala assoluta di temperatura in termini razionali.

In Appendice A sono riportati ulteriori argomenti di controdeduzione per la citata memoria di CHIATTI.

7.44 SINTESI DELLE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE DIMOSTRAZIONI DEL SECONDO TEOREMA DELLA TERMODINAMICA CLASSICA FINORA ESAMINATE

È tempo di riassumere le osservazioni più importanti finora messe in evidenza nel corso dell'esame di tutti i documenti presi in considerazione.

Il nostro percorso è iniziato con il libretto scritto da CARNOT nel pieno rispetto della Teoria del Calorico e pubblicato nel 1824 da una libreria di Parigi.

I ragionamenti di CARNOT erano finalizzati a razionalizzare la progettazione ingegneristica delle macchine termiche. Una delle idee più seducenti di CARNOT fu quella dell'esperimento mentale, il quale consisteva nel considerare due macchine termiche funzionanti in reciproca opposizione. Una funzionava come motore, facendo transitare il Calorico e producendo lavoro meccanico; l'altra funzionava al contrario, utilizzava quel lavoro meccanico e rimandava indietro il Calorico.

L'altra sua idea seducente fu quella di impostare un ragionamento per assurdo per determinare le condizioni per ottenere il minimo consumo di carbone per il funzionamento di una macchina termica o, in altri termini, ottenere il massimo rendimento.

Le idee di CARNOT si rivelarono affascinanti per i teorici, e CLAPEYRON provvide a riformularle in forma matematica e a divulgarle.

Quando l'experimentum crucis di JOULE dimostrò che il calore si poteva creare consumando lavoro meccanico, gli scienziati teorici si resero conto che era diventato necessario abbandonare la teoria del Calorico, secondo la quale il calore era un fluido "indistruttibile" che, in quanto tale, non poteva essere generato.

Scienziati teorici, come KELVIN e CLAUSIUS in prima fila, iniziarono ad avere l'ambizione di sviluppare una nuova teoria del calore, ma non riuscirono a trovare argomenti diversi da quelli di CARNOT per tale scopo.

Essi furono quindi costretti a cercare di salvare le brillanti idee di CARNOT, per trasferirle nella nuova teoria dinamica del calore di cui divennero i Padri Fondatori.

Uno dei più importanti fini dei Padri Fondatori, era quello di accertare se anche nella nuova teoria dinamica del calore si potesse mantenere il concetto fondamentale di CARNOT, secondo il quale la massima efficienza di conversione da calore a lavoro non dipende dal corpo variabile utilizzato.

Un secondo loro scopo, altrettanto importante, era quello di determinare la variazione del massimo rendimento al variare delle temperature di funzionamento.

Ma per raggiungere tali obiettivi, i Padri Fondatori si scontrano subito con un grosso ostacolo: Se il calore in parte si consuma nel produrre lavoro, allora non si può più impostare la dimostrazione per assurdo ideata da CARNOT, dato che ora viene a mancare quell'assurdità che egli poté facilmente invocare.

In altri termini, i Padri Fondatori non potevano più dichiarare che le due macchine contrapposte generassero energia dal nulla o, ciò che è la stessa cosa, diventassero il primigenio “moto perpetuo *tout-court*”.

Non fu più possibile, per i Padri Fondatori, ripetere “esattamente” il ragionamento di CARNOT delle due macchine antagoniste, perché non si poteva più escludere il caso in cui il lavoro complessivamente prodotto dalla combinazione delle due macchine antagoniste venisse fornito dal calore sottratto alla sorgente più fredda.

Tre argomenti convinsero i Padri Fondatori che tale ostacolo potesse essere superato, salvando, così, nella nuova teoria del calore, quasi tutte le brillanti idee di CARNOT.

1°) Sembrava inconcepibile ammettere che il calore necessario a produrre il lavoro potesse provenire dalla sorgente più fredda;

2°) I tentativi fino ad allora (tecnologia anni 1824-1879) posti in essere per creare macchine a moto perpetuo erano falliti.

3°) Il moto perpetuo tout-court, che fosse in grado di generare energia dal nulla, era posto allo stesso piano della macchina capace di produrre lavoro estraendo il calore necessario dalla sorgente fredda. Una tale macchina, avrebbe avuto “lo stesso valore pratico” del moto perpetuo: avrebbe prodotto energia “senza alcuna spesa”.

Furono questi, principalmente, gli argomenti che convinsero i Padri Fondatori ad adottare assiomi secondo i quali una macchina termica come sopra concepita era impossibile.

Nessuno di quegli argomenti è compatibile con il Metodo Scientifico, ma i Padri Fondatori li presero per buoni e decisero di superare la difficoltà per salvare le brillanti idee di CARNOT nella nuova teoria, introducendo una nuova assurdità: L'impossibilità, per assioma, di costruire una macchina capace di produrre lavoro estraendo l'energia necessaria da una sola sorgente di calore -un assioma che, sulla base delle conoscenze scientifiche della seconda metà dell'800, impone un limite al perfezionamento che il genere umano può apportare alla tecnologia delle macchine termiche per tutti i secoli futuri.

Questo fu il primo grande errore, seppure involontario, commesso dai Padri Fondatori, al quale si deve aggiungere la limitazione che essi hanno imposto alla loro teoria, consistente nella esclusione delle macchine termiche statiche e di considerare esclusivamente trasformazioni cicliche per sviluppare i teoremi.

Un secondo errore di Logica commesso dai Padri Fondatori è stato quello di derivare dall'assioma il concetto che certi fenomeni naturali (o certe trasformazioni) sono irreversibili.

Questo errore di impostazione della teoria relativa al Secondo Principio della Termodinamica fu introdotto da KELVIN in una

memoria pubblicata nel 1852, intitolata “*On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy*”, ove egli modificò e perfezionò la sua idea circa il concetto di “irreversibilità”.

Anche nei moderni libri di testo di termodinamica si riscontra questo errore di impostazione, e ciò fornisce una prima prova di come gli errori dei Padri Fondatori siano tuttora condivisi dalla Comunità Scientifica.

È facile spiegare perché derivare il concetto di irreversibilità di certe trasformazioni naturali dall’assioma sia un errore di Logica: l’assioma è il punto di partenza per fondare una nuova teoria (in sostituzione della obsoleta teoria del Calorico) riguardante un certo comportamento del calore, ma bisogna considerare il fatto che l’assioma prescelto non riguarda il comportamento del calore in Natura, ma impone un limite alle tecnologie che il genere umano può sviluppare.

Se dunque certe trasformazioni naturali vengono definite irreversibili come necessaria conseguenza di un assioma del genere, si mescolano tra loro due entità concettuali non omogenee: trasformazioni irreversibili per ciò che la Natura non potrà mai fare, e trasformazioni che il genere umano non può invertire usando le tecnologie consentite dalle conoscenze scientifiche del momento.

Accettare ancora oggi questa mistione di concetti non omogenei continua a mantenere confusione nella teoria basata sull’assioma, in quanto le capacità tecnologiche dell’Uomo relative all’assioma sono rimaste quelle della seconda metà dell’800, mentre nei successivi 160 anni i progressi della scienza hanno consentito il raggiungimento di tecnologie raffinatissime.

Un altro errore introdotto nella teoria dinamica dai Padri Fondatori, è connesso alla modifica della dimostrazione del teorema di CARNOT: la scelta di una Tesi molto tendenziosa per il teorema di

CARNOT, rese per essi impossibile rendersi conto che il problema logico-matematico, connesso al sistema delle due macchine contrapposte, non ammetteva soltanto due possibili soluzioni ma tre, e quindi l'utilizzazione del principio del terzo escluso nella dimostrazione non era consentita.

Esiste un altro motivo di inaccettabilità della dimostrazione del teorema di CARNOT: L'assioma viene usato più volte nella dimostrazione del teorema (di Carnot) - una prima volta (implicitamente) per stabilire che sono reversibili le trasformazioni che compongono una prima macchina; una seconda volta (implicitamente) per definire che sono irreversibili le trasformazioni che compongono la seconda macchina; una terza volta (esplicitamente) per dichiarare che la macchina complessa descritta non può esistere perché consentirebbe di violare l'assioma.

Tuttavia, la molteplice applicazione di un assioma in uno stesso ragionamento consente la dimostrazione tautologica di qualunque proposizione (si veda quanto detto in proposito nel precedente Paragrafo 7.35).

Un ulteriore errore è ancora connesso alla modifica della suddetta dimostrazione per assurdo, e consiste nel fatto che i Padri Fondatori hanno lasciato incomplete le loro dimostrazioni.

Essi non potevano rendersi conto che se la combinazione delle due macchine contrapposte produceva una certa quantità di lavoro a spese di una corrispondente quantità di calore sottratto alla sorgente più fredda, la medesima quantità di calore poteva essere fatta fluire dalla sorgente calda a quella più fredda, sfruttando il fenomeno naturale della conduzione del calore (ciò che abbiamo definito "il calore locale di compensazione"), tramite l'utilizzazione di una resistenza termica.

I Padri Fondatori non poterono evitare questo errore; non KELVIN, perché nella memoria del 1852 aveva subito dichiarato che il fenomeno naturale della conduzione di calore era irreversibile come “conseguenza” del suo assioma, e neppure CLAUSIUS, perché egli aveva inizialmente imposto la forte “limitazione” alla teoria che intendeva sviluppare, che due sostanze a temperature diverse non debbano mai entrare in reciproco contatto.

Entrambi, pertanto, ritenevano che la conduzione del calore fosse un fenomeno naturale “irreversibile”, e quindi non potevano concepire l'idea di introdurre nella nuova dimostrazione del teorema di CARNOT un fenomeno che avrebbe comportato una pura perdita di energia.

Incidentalmente, notiamo che nel momento in cui esiste una Macchina Termodinamica Perfetta (MTP), quest'ultima può essere utilizzata per invertire il fenomeno naturale della conduzione di calore senza determinare alcun cambiamento nel resto dell'universo.

La seguente Figura 7.8 mostra come ciò sia possibile, tramite l'impiego di una MTP costituita dalla contrapposizione delle due macchine E e Φ , secondo la configurazione della precedente Fig. 7.4.

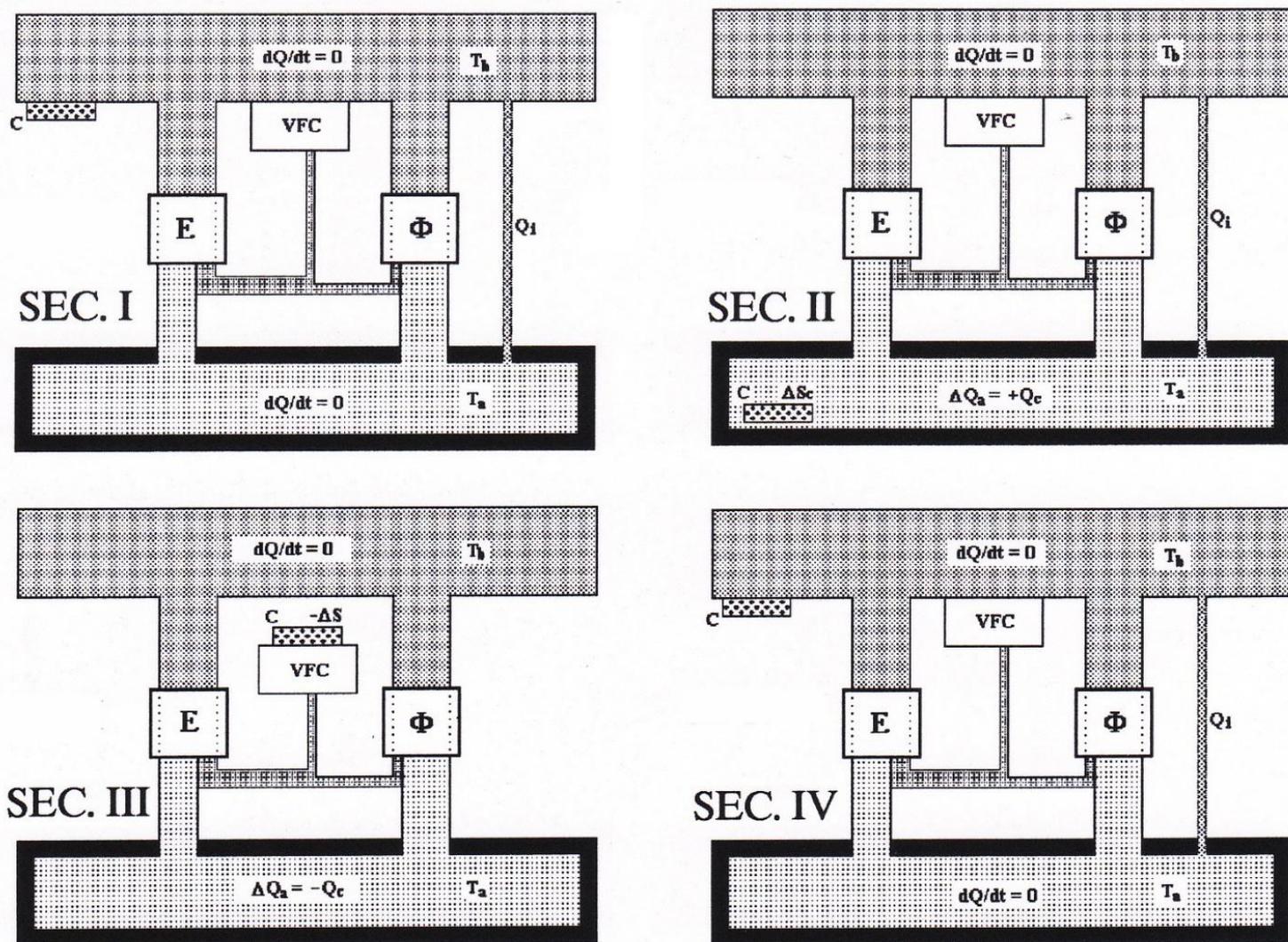


Fig. 7.8

Le Sezioni mostrano le quattro fasi dell'inversione.

In Sez. I il corpo C è in perenne contatto con la sorgente calda, mentre il Convertitore ad Attrito Viscoso (VFC) trasforma il lavoro utile prodotto dalle due macchine contrapposte in calore, e fa confluire questo calore nella sorgente calda.

In questa Sezione è mostrato, quindi, lo schema di un Moto Perpetuo di Seconda Specie (il calore fluisce in continuazione dal corpo caldo a quello freddo, e viceversa, con produzione nulla di lavoro utile).

Nella Sez. II il corpo C viene posto in contatto con la sorgente fredda e si verifica la conduzione "irreversibile" di calore.

Nella Sezione III, il corpo C viene nuovamente riscaldato, tramite il VFC, ad una temperatura uguale a quella della sorgente calda, e nella Sezione IV il corpo C è posto di nuovo in contatto con la sorgente calda, per cui la situazione ritorna identica a quella della Sez. I senza che nessun cambiamento si sia verificato nel resto dell'universo.

D'altra parte, se i Padri Fondatori avessero “completato” le loro dimostrazioni nel senso detto, sarebbero giunti alle nostre medesime conclusioni e la loro teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica non avrebbe mai visto la luce.

Nel corso degli ultimi centosessantacinque anni, ovvero, quelli intercorsi tra il 1854 e il 2019, non mi risulta che la termodinamica classica abbia acquisito altre dimostrazioni del teorema di CARNOT che si possano ritenere condivisibili.

È logico trarre da tali conclusioni le debite conseguenze, che non possono essere che le seguenti.

Il Secondo Principio della Termodinamica classica rimane falciato di quasi tutto il significato che gli si attribuisce al giorno d'oggi, e la relativa teoria, qualora mai fosse valida, potrebbe valere solo per le macchine cicliche, mai per macchine statiche o per eventi naturali.

A questo punto sorgono spontanei una serie di quesiti e dubbi.

7.45 I SUCCESSORI DEI PADRI FONDATORI E IL PRINCIPIO DEL TERZO ESCLUSO

Uno dei primi quesiti che è d'obbligo porsi è il seguente.

Come abbiamo visto, vi sono motivi per ritenere che i Padri Fondatori, per dimostrare le loro particolari dimostrazioni per assurdo, non avessero alcuna remora nell'utilizzare acriticamente il principio del terzo escluso, il quale trova una tale utilizzazione nella matematica classica.

Nei primi anni del successivo secolo, però, grazie BROUWER e al suo allievo HEYTING è nata la matematica Intuizionista in opposizione alla matematica classica, e più in generale è nata la matematica Costruttiva – matematiche che bandiscono completamente l'uso del principio del terzo escluso.

Pertanto è logico chiedersi se i più illustri Scienziati, successori dei Padri Fondatori e forgiatori del pensiero attualmente dominante sul Secondo Principio della Termodinamica, abbiano avuto la possibilità di conoscere le letture di BROUWER pubblicate nel 1981, ed in particolare l'opera di HEYTING pubblicata nel 1956.

Se ciò fosse accaduto, tali Scienziati avrebbero potuto esaminare criticamente le citate dimostrazioni per assurdo connesse al Secondo Principio della Termodinamica, e sarebbero certamente pervenuti alle nostre stesse conclusioni: l'impostazione della seconda legge della teoria dinamica del calore, dovuta ai Padri Fondatori, non è condivisibile, se non altro per l'utilizzo non-consentito del principio del terzo escluso.

Vediamo quali sono le date di nascita e morte, nonché le qualificazioni di alcuni di tali illustri contemporanei e/o successori dei Padri Fondatori, al fine di verificare se essi abbiano avuto l'opportunità di conoscere l'opera di HEYTING.

Prendiamo, ad esempio, alcuni tra gli scienziati che furono membri di “The Berlin School of Thermodynamics” di cui abbiamo già parlato.

Poggendorff Johan Christian (1796–1877): farmacista, poi anche fisico;

Clausius Rudolf (1822–1888): fisico e matematico;

Von Helmholtz Hermann Ludwig Ferdinand (1821–1894): medico, fisiologo e fisico;

Krönig August Karl (1822–1879): chimico, fisico e matematico.

Kirchhoff Gustav Robert Georg (1824–1887): fisico e matematico.

Planck Max Karl Ernst Ludwig (1858–1947): fisico.

Nernst Walther Hermann (1864–1941): chimico.

Carathéodory Constantin (1873–1950): matematico.

Einstein Albert (1879–1955): fisico e filosofo.

Warburg Otto Heinrich (1883–1970): medico e fisiologo. *

Debye Peter (1884–1966): chimico, fisico e ingegnere. *

Schottky Walter (1886–1976) fisico. *

Schrödinger Erwin (1887–1961): fisico e matematico. *

Szilárd Leó (1898–1964): fisico e scrittore. *

vonNeumann John (1903–1957): uno dei più importanti matematici moderni, fisico e informatico.

Pertanto, sono soltanto gli ultimi cinque della lista (nomi con *), i membri di The Berlin School of Thermodynamics che avrebbero avuto l'occasione di conoscere il testo di HEYTING, ma in tarda età, a fine-carriera e a pochi anni dalla morte.

In pratica, nessuno degli scienziati di cui sopra ebbe la possibilità di scoprire che l'applicazione del criterio della costruttività, propugnato inizialmente dagli Intuizionisti, fa diventare improvvisamente non-condivisibile la teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica dovuta a KELVIN e CLAUSIUS.

Nessuno di essi ebbe modo di osservare che non era necessario condividere l'intransigenza degli Intuizionisti, nel rifiutare, tout-court, l'applicazione del principio del terzo escluso, per individuare l'errore nella teoria.

Sarebbe bastato, per tale scopo, solo verificare se vi erano le condizioni per rispettare la “definizione” del Principio del “terzo”

escluso, ovvero, verificare la “mancanza” di un “terzo” possibile caso.

Abbiamo visto, infatti, che se si tenta di utilizzare il principio del terzo escluso per la dimostrazione dei teoremi di KELVIN e CLAUSIUS: quelli relativi alla teoria dinamica del calore, tale tentativo è subito impedito dal criterio, tipicamente intuizionista, della verifica del numero dei casi.

In conclusione, i membri di The Berlin School of Thermodynamics continuarono ad utilizzare acriticamente il principio del terzo escluso, ritenendo che la negazione di una negazione di una proposizione sia equivalente alla sua affermazione.

Ma cosa possiamo dire, al riguardo, per tutti i successivi scienziati intervenuti sul Secondo Principio della Termodinamica ?

Non mi risulta, infatti, ma attendo di essere smentito se sbaglio, che l'inapplicabilità del principio del terzo escluso per la dimostrazione del teorema di CARNOT sia stata messa in evidenza prima d'ora.

È d'obbligo, però, porsi anche il seguente quesito: Potevano, i successori dei Padri Fondatori, osservare che le dimostrazioni del teorema di CARNOT non erano condivisibili perché erano anche “incomplete” per la mancata considerazione di ciò che abbiamo denominato il “calore locale di compensazione” ?

A tale riguardo, non sembra che si possano fare distinzioni: Tutti, a iniziare dai membri di The Berlin School of Thermodynamics fino al più recente degli scienziati moderni, hanno avuto l'opportunità di denunciare tale incompletezza. Attendo di essere smentito se sbaglio, ma non mi risulta che ciò sia accaduto.

Allora sorgono spontaneamente una infinità di enigmi, come ad esempio i seguenti:

Come possiamo spiegare che i clamorosi errori, qui messi in evidenza, non siano diventati patrimonio comune in campo scientifico ?

Come possiamo ipotizzare che emeriti scienziati, vincitori addirittura di Premi Nobel per la fisica e la chimica, non abbiano notato i banali errori di logica qui evidenziati dal modestissimo dottore in fisica che scrive ?

Personalmente, ritengo tale ipotesi assolutamente inverosimile, mentre sono portato a credere che diversi di tali illustri scienziati abbiano avuto contezza di tali errori, ma che siano stati trattenuti dall'esternarli da remore di vario genere ma non di carattere scientifico.

Infatti, come potremmo spiegare con altre ragioni il fatto che nel XIX secolo le idee innovative che hanno consentito di smantellare la fantasiosa teoria del Calorico, sulla quale gli scienziati di carriera si dilettevano a dibattere, siano state avanzate da due dilettanti della Scienza ?

Dapprima l'ex Ufficiale dell'esercito Carnot Sadi Léonard, con un libretto fatto stampare da una libreria - poi il birraio con l'hobby della scienza James Prescott Joule, il quale inizialmente esponeva le sue rivoluzionarie idee in letture pubbliche.

Come si è visto, fu il chimico DAVY a realizzare, nel 1799, un esperimento che dimostrava l'erroneità della teoria del Calorico, ma dobbiamo chiederci perché dovettero trascorrere più di cinquanta anni prima che il fisico KELVIN ne prendesse atto, e chiederci altresì per quale motivo ciò accadde solo dopo la pubblicazione della memoria rivoluzionaria di CLAUSIUS.

Ma l'elenco delle perplessità è ben lungi dall'essere terminato; ne scegliamo solo un'ultima, scelta caso tra le tante:

Come possiamo spiegare il fatto che l'inapplicabilità del principio aristotelico del terzo escluso al teorema di CARNOT non sia diventata un concetto condiviso in campo scientifico, se

“Generazioni di matematici hanno tentato di dare significato a ciò che CLAUSIUS scrisse.” (TRUESDALL - *Rational Thermodynamics*, 2° Ed., Pag. 13);

ed inoltre se

“L'enunciato verbale della “Seconda Legge” è privo di senso ... Un secolo di filosofi e giornalisti hanno acclamato questo comandamento; un secolo di matematici sono rabbriviti e hanno distolto i loro occhi dall'immondo” (TRUESDALL - *The Tragicomical History*, Pag. 333).

Perché tutti questi matematici non sono riusciti a far sentire la loro protesta ?

In realtà non è vero che la Comunità Scientifica sia compatta nel condividere la teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica, in quanto anche i fisici-matematici razionalisti, di cui TRUESDELL è stato un magnifico esponente, fanno parte di tale Comunità.

Ritengo infine che a dare risposta a quesiti come quelli di cui sopra non dovrebbe provvedere soltanto la Comunità Scientifica, in quanto essa è parte interessata, ma credo che anche la società civile dei nostri giorni abbia il dovere e l'interesse di farlo.

Al giorno d'oggi, infatti, Scienza ed Economia sono sempre più interconnesse e l'inevitabile inerzia della Scienza a recepire le nuove idee può essere dannosa per il Genere Umano.

7.46 COMMiato CON IL LETTORE GENERICO.

È giunto il momento di indirizzare alla Comunità Scientifica una serie di proposte finalizzate a sottrarre la teoria del Secondo

Principio della Termodinamica dallo stato di impotenza in cui attualmente è stata relegata.

Ciò implica che nella restante parte del libro sarà molto più difficile mantenere un facile grado di comprensibilità per il lettore generico.

Tuttavia alcuni dei paragrafi seguenti restano a mio avviso di facile lettura ed anche di notevole interesse per tutti.

Tali paragrafi sono i seguenti:

8.6; 8.7; 8.8; 8.9; 8.10; 8.11; 8.12; 8.13; 8.14; 8.16; 8.17; 8.18; 8.19; 8.20; 8.21.

Con le seguenti considerazioni, mi commiato con quei dei lettori del futuro che ritengono di non essere in grado di proseguire con la lettura.

Sempre più frequentemente, gli esponenti Politici si trovano di fronte a problemi di natura tecnica e scientifica, ma poiché in generale i detentori dei poteri decisionali non posseggono le giuste conoscenze o, pur avendole, non vogliono assumersi le responsabilità, ricorrono alla Scienza chiedendo pareri ad illustri scienziati.

Il risultato è che le conseguenti leggi Statali riguardanti temi scientifici sono condizionate da ciò che al giorno d'oggi è considerato “Scientifico”, come se la Scienza rappresentasse sempre il “Vero”, l'Assoluto, l'Incontestabile e così via.

Tuttavia non può sfuggire il fatto che su molti, se non tutti **i temi fondamentali della Scienza**, vi sono isolati pensatori o anche gruppi di scienziati che esprimono opinioni molto diverse da quelle comunemente condivise dalla restante parte della Comunità Scientifica, che ha la propensione a leggere soltanto ciò che è stato sottoposto al processo di Revisione Paritaria.

In realtà, sia per definizione di Metodo Scientifico sia per il tipo di organizzazione che la Scienza si è data al suo interno e infine per come essa è concepita dalla Politica e dalla società, sfortunatamente, ciò che oggi è generalmente considerato scientifico, un giorno potrebbe non esserlo più.

Lo dimostra l'esperienza: ciò che un tempo era considerato scientifico, oggi non lo è più, e quindi molto di ciò che oggi è considerato scientifico domani potrebbe non essere più vero.

A creare l'illusione della **universale** infallibilità della Scienza, contribuisce in modo determinante il sistema della Revisione Paritaria.

Un notevole articolo su questo tema è stato di recente pubblicato dalla rivista Nexus New Times (Edizione Italiana Nr. 135 – Vol. 4 Settembre-Ottobre 2018). L'articolo è intitolato “*Il Fallimento della Revisione Paritaria in Medicina*”, a firma di Brendan D. Murphy

L'articolo di MURPHY riporta una serie di fatti incredibili, supportati da 25 citazioni bibliografiche, riguardanti il cattivo funzionamento del sistema attualmente in vigore di Revisione Paritaria. Ne riportiamo soltanto una, a titolo di esempio: (Richard Horton, “Genetically modified food; Consternation, confusion and crack-up”, editoriale ospite in *The Medical Journal of Australia*, 172 (4), 2000).

<https://nexusmagazine.com/product/the-failure-of-peer-review-especially-in-medicine/?v=cd32106bcb6d>

La citazione di MURPHY di Richard Horton, editore della rivista The Lancet, è la seguente: “*L'errore, certamente, è aver pensato che la revisione paritaria non sia altro che un rozzo strumento per scoprire l'accettabilità – non la validità – di una nuova scoperta... Presentiamo al pubblico la revisione paritaria come un processo quasi sacro che contribuisce a fare della scienza il nostro più*

obiettivo oracolo della verità. Ma noi sappiamo che il sistema della revisione paritaria è prevenuto, ingiusto, inaffidabile, incompleto, facilone, spesso offensivo, normalmente ignorante, talvolta folle e frequentemente sbagliato.”

Logicamente, al riguardo gioca un ruolo molto importante il sistema dei mezzi di informazione: quello legato alle più potenti organizzazioni della società civile, che detengono mezzi di informazione con i quali l'opinione pubblica può essere condizionata.

Questo si riflette negativamente sulla restante ed ingenua parte della Società civile, per quanto riguarda il giudizio su ciò che è Scientifico e ciò che non lo è, poiché, come è logico che sia, essa si rimette al giudizio di coloro che sono considerati i massimi esponenti della Comunità Scientifica riportato dai suddetti mezzi di informazione.

Il corto-circuito e la permanenza dello status quo sono così assicurati.

Sul primo aspetto, ovvero su ciò che oggi è considerato “Scientifico”, c'è da ricordare che la Vera Scienza esprime degli assiomi sulla base di osservazioni sperimentali, ma li assume come verità “provvisorie” restando costantemente in attesa di altri esperimenti che contraddicano qualcuno di tali assiomi.

Se ciò accade, e se la Comunità Scientifica ne prende atto, allora viene messo in atto un procedimento per modificare l'assioma.

Se, invece, la Comunità Scientifica non ne prende atto, tutto resta come prima.

Ora è evidente che vi possono essere motivi che non hanno nulla a che fare con la Scienza ma che sono tali da determinare il dato di fatto che la Comunità Scientifica non possa prendere atto di esperimenti di portata così dirompente, o di nuove conoscenze.

Questo argomento tira in ballo il secondo aspetto di cui sopra, ovvero, il tipo di organizzazione che la Scienza si è data, nel senso che al giorno d'oggi la Comunità Scientifica considera degni di attenzione soltanto lavori che hanno superato la verifica di attendibilità esercitata da anonimi “Revisori”.

Tra l'altro, quest'ultimo aspetto dovrebbe mettere in evidenza la contraddittorietà del concetto stesso di “Pari” tra autori di lavori rivoluzionari e “Revisori”.

Poniamo infatti il caso in cui un ricercatore scopra un esperimento che contraddice un certo assioma. Come si potrebbe giudicare se i Revisori siano “pari” (dal punto di vista scientifico) a questo particolare ricercatore ?

Nel caso sopra prospettato si potrebbe paradossalmente affermare che il ricercatore non è “pari”, bensì “superiore” rispetto ai revisori, i quali, probabilmente, hanno costruito la loro carriera scientifica, fatta di “Impact Factor” eccetera, rimaneggiando l'esistente nella stessa materia in cui il ricercatore vuole portare “scompiglio”.

C'è allora la concreta possibilità che questo sistema della Revisione Paritaria determini un danno al genere umano, perché fa sì che lavori che possono rappresentare una nuova verità scientifica non vengano divulgati, rendendo così praticamente impossibile alla Comunità Scientifica, e di riflesso anche alla Politica, di discuterne ed eventualmente prenderne atto.

È vero che questi lavori rifiutati possono comunque essere letti da chiunque, grazie alle rete, ma essendo relegati ed immersi in quel marasma di concetti più o meno rivoluzionari che la rete stessa contiene, essi non possono incidere sulle scelte della Politica, essendo bollati di essere fraudolenti non avendo superato il processo di Revisione Paritaria.

Poiché la Comunità Scientifica non sembra in grado di adottare l'auspicata correzione, né, d'altra parte, questa potrebbe essere imposta, sarebbe logico che fosse il resto della società, con i Politici in prima fila, a dover cercare un sistema per dare a questi lavori almeno la possibilità di essere valutati.

Non credo che tutto ciò potrà mai accadere, ed è con questo amaro sentimento che comunico al generico lettore che può terminare qui la sua lettura del presente libro.

Il resto di questo libro (salvo i paragrafi indicati) rischia di essere troppo approfondito per chi non ha sufficienti conoscenze tecnico-scientifiche, per cui è opportuno che sia letto da chi abbia intenzione di fare qualcosa di concreto per modificare la tragica situazione del Secondo Principio della Termodinamica.

Per questi coraggiosi, un paio di considerazioni finali.

Innanzitutto, se è vero, come AGENO ci ha fatto notare, che il concetto di sistema perfettamente chiuso e isolato dal “resto dell'universo” è un concetto “non-fisico”, allora, quando la Fisica attualmente condivisa afferma che in un sistema **chiuso** l'Entropia può solo aumentare, mai restare costante o diminuire, sta esprimendo un concetto fisico, oppure un concetto non-fisico o addirittura meta-fisico ?

Infine, dato che in Fisica conta solo ciò che si può misurare, esiste, che voi sappiate, uno strumento tecnico per “misurare” la variazione di Entropia che si verifica in un sistema “chiuso”, oppure tale variazione si può soltanto determinare con calcoli matematici ?

A voi le risposte, e buona lettura del resto, se volete.

CAPITOLO 8

ATTITUDINE MENTALE NECESSARIA PER LA RIFORDAZIONE DELLA TEORIA DEL SECONDO

PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

“(Simplicio): Ma quando si lasci Aristotele, chi ne ha da essere per scorta nella Filosofia? Nominate voi qualche autore.

(Salviati): Ci è bisogno di scorta nei paesi incogniti e selvaggi, ma nei luoghi aperti e piani i ciechi solamente hanno bisogno di guida; e chi è tale, è ben che si resti in casa. Ma chi ha gli occhi nella fronte, e nella mente, di quelli si ha da servire per iscorta; né per ciò dico io, che non si debba ascoltar Aristotele anzi laudo il vederlo, e diligentemente studiarlo, e solo biasimo il darglisi in preda in maniera che, alla cieca si sottoscriva a ogni suo detto, e senza cercarne altra ragione si debba aver per decreto inviolabile.”
(Dialogo Sopra I Due Massimi Sistemi... – Galileo Galilei).

8.1 PREMESSA

Cari lettori del futuro, Simplicio aveva paura di perdere la confortante “scorta” di Aristotele, ma se io ho ragione, allora noi tutti siamo rimasti senza la “scorta” di qualche grande mente nel filosofare sull'impostazione classica del Secondo Principio della termodinamica. Ciò che possiamo fare, è abbandonare ogni certezza al riguardo e rifondare daccapo una teoria sostenibile.

A fronte dei contenuti del presente libro, ritengo siano solo due gli atteggiamenti che ogni lettore potrebbe mantenere, essendo illogico un terzo possibile atteggiamento.

Inizio subito a parlare di quest'ultimo: Non fare nulla e ignorare il contenuto e addirittura l'esistenza del presente libro.

Sarebbe illogico, ma nel nostro illogico mondo è questo l'atteggiamento che ha più probabilità di essere mantenuto da ognuno di Voi, lettori del futuro.

I due atteggiamenti logici sono invece i seguenti:

1) Cercare di risolvere tutti gli esercizi per i lettori proposti nel presente libro e, conseguentemente, dimostrare che non sono valide le argomentazioni da me addotte per inficiare le dimostrazioni attualmente condivise del teorema di CARNOT. Oppure, ciò che è la stessa cosa, voi potete escogitare una dimostrazione del teorema di CARNOT esente da tutte le obiezioni da me sollevate in questo libro;

2) Tentare di rifondare completamente la teoria del Secondo Principio su basi e con metodi diversi da quelli utilizzati dai Padri Fondatori.

Come si può facilmente comprendere, intraprendere e portare a termine tali propositi richiede grandi sforzi.

A differenza di ciò che GALILEI mette in bocca a Salviati, il “luogo” che dobbiamo esplorare non è né aperto e né piano. Al contrario, la via per recuperare un significato del Secondo Principio della Termodinamica più aderente al Metodo Scientifico è piena di curve, salite impervie e trappole, nonché ostacoli ideologici, psicologici e archetipali.

Se vogliamo veramente cercare una nuova formulazione di questo Principio, dobbiamo sgombrare la mente da tutto – completamente tutto – il condizionamento che ci deriva da oltre 160 anni di storia della termodinamica; proposito molto difficile da attuare.

Dal momento che adottare il primo atteggiamento logico spetta (se volete) a Voi, lettori del futuro, io mi limito a indicare quali sarebbero, secondo me, le azioni da intraprendere per rifondare questa teoria.

Più di questo io non sono in grado di fare. Non sono, infatti, un fisico teorico e le occorrenze della vita non mi hanno consentito di andare oltre le conoscenze dei “Metodi Matematici della Fisica” (veri e propri “Martelli e Cacciaviti”, utili per “maneggiare” solo

l'esistente), materia che faceva parte del programma universitario di studi dell'epoca.

Non ho quindi gli strumenti per affrontare un lavoro così impegnativo come quello sopra indicato, e neppure l'età.

Ciò però non significa che per lo scopo di cui sopra io non abbia qualche idea da proporre.

Le espongo nel seguito come pensieri in libertà, sperando che qualcuno di Voi, dotato delle necessarie competenze ma soprattutto di coraggio e determinazione, le possa sviluppare.

È giunto infatti, a mio avviso, il tempo di fare spazio negli archivi della storia della Fisica, e creare un cassetto contiguo a quello in cui giace la teoria del Calorico per riporvi la teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica sviluppata principalmente da KELVIN e CLAUSIUS.

In tal modo tale teoria potrà restare a disposizione degli storici della Fisica, i quali potranno scrivere libri e ancora libri, nella speranza (purtroppo destinata a restare disattesa) che gli errori compiuti nel passato possano servire ad evitarne altri per altre branche della Fisica.

8.2 PRIMO PASSO: DISSIPARE TUTTI GLI EQUIVOCI ED ELIMINARE INUTILI E ANZI DANNOSI PRESUPPOSTI E “LIMITAZIONI”

Ritengo che per rifondare su basi razionali il Secondo Principio della Termodinamica bisognerebbe procedere per successivi e ben calibrati passi.

Da quanto abbiamo visto finora, nel corso degli ultimi centosessantacinque anni si sono accumulate varie interpretazioni dei concetti espressi dai Padri Fondatori su questa teoria. È logico che ciò sia accaduto, perché, come si è visto, i Padri Fondatori hanno

involontariamente introdotto nella teoria concetti empirici non convincenti, e quindi i successori hanno tentato di chiarirli, non essendo in grado di fondare una nuova teoria su altre basi.

Uno dei concetti introdotti dai Padri Fondatori che ha subito il maggior numero di modifiche è proprio il nome assegnato al principio fisico in questione.

Abbiamo visto che sono stati adottati tanti modi per significare che si sta argomentando di tale Principio. Si parla, in generale, di Assioma; Postulato; Secondo Principio della termodinamica; Teorema di CARNOT; Seconda legge della termodinamica e Secondo teorema fondamentale della termodinamica, come fossero un'unica entità logica, creando, a mio avviso, molta confusione.

Al riguardo, conviene ricordare che la particolarità del Secondo Principio della Termodinamica non consiste soltanto, come dicono gli Autori di Testi, nel fatto di essere espresso con una formulazione negativa, ma anche nel fatto di richiedere una dimostrazione matematica per diventare una “legge” operativa, idonea a rappresentare il comportamento di eventi naturali.

La necessità di introdurre questa dimostrazione matematica per rendere operativo il Principio, è implicitamente ammessa dagli Autori di Testi, in quanto l'assioma Kelvin-Planck non riguarda alcun fenomeno naturale ma solo macchine termiche.

Mentre non ricordo alcun altro principio fisico espresso negativamente, ricordo invece di non aver conosciuto nessun altro principio fisico che richiedesse una dimostrazione matematica per diventare operativo; di norma, l'assioma “è” la legge, mentre per il Secondo Principio della Termodinamica l'assioma Kelvin-Planck non può essere tale.

Per rendersi conto di questa realtà, basta ricordare che la Comunità Scientifica ritiene che i vari assiomi enunciati dai Padri Fondatori

siano equivalenti, e tra questi è compreso il Kelvin-Planck: “È impossibile costruire una macchina tale che, funzionando in un ciclo, produca altro effetto che l'estrazione di calore da una riserva e la produzione di un valore equivalente di lavoro”.

Come è evidente, questa proposizione non può costituire una legge di Natura, essendo soltanto una proibizione per l'Uomo.

Un assioma del genere non è operativo; non è direttamente utilizzabile per trarre conclusioni su trasformazioni termodinamiche naturali o su reazioni chimiche – da solo, non serve a nulla.

Sono invece diventati operativi i teoremi che la Comunità Scientifica ritiene che siano stati dimostrati a partire da quell'unico assioma.

Sembra, quindi, che una delle prime cose da fare sia quella di fare chiarezza sui nomi e sul loro esatto significato fisico.

Ad esempio, si supponga (per assurdo postulato) che l'assioma di KELVIN, o quello di CLAUSIUS, oppure il Kelvin-Planck abbiano un significato fisico (siano utili per fondare la teoria) e che esista una dimostrazione condivisibile di due teoremi: l'integrale di CLAUSIUS e la disuguaglianza di CLAUSIUS.

In tali ipotesi, personalmente non riterrei corretto affermare che i citati assiomi costituiscono il Secondo Principio della Termodinamica.

Riterrei, piuttosto, che sarebbe giusto affermare che il Secondo Principio della Termodinamica è espresso dai due teoremi di CLAUSIUS.

Riterrei corretto, invece, continuare a definire “assiomi del Secondo Principio” gli enunciati riguardanti l'impossibilità di costruire una macchina in grado di sfruttare completamente il calore.

8.3 SECONDO PASSO: DISCUSSIONE SULLA DEDUCIBILITÀ DI UN PRINCIPIO FISICO CON METODI

DI LOGICA-MATEMATICA

C'è un altro punto da chiarire, in relazione al significato fisico del Secondo Principio della Termodinamica e sulla sua utilizzazione.

Ciò che è lecito fare, al riguardo, è dimostrare alcuni teoremi sulla base di assiomi ottenuti con il metodo induttivo partendo da solide basi sperimentali. Ciò che invece non si può fare, è pretendere che gli esiti di tali teoremi possano essere usati in sostituzione degli assiomi di partenza.

Normalmente, in fisica l'assioma coincide con il Principio fisico e il relativo concetto può essere espresso tramite un'equazione, o formula matematica.

Attenzione, però: Tali equazioni rappresentano direttamente il principio in forma matematica, e quindi non sono conseguenze, o corollari, del principio ottenuti tramite processi di logica-matematica.

Ad esempio, i fisici, sulla base di una quantità di esperimenti di varia natura, hanno espresso un principio di valenza generale noto come Seconda Legge della Dinamica che è espresso verbalmente come segue:

“Quando un corpo è soggetto ad una forza, subisce una accelerazione che è proporzionale alla forza.”

La proposizione virgolettata rappresenta l'assioma, o enunciato verbale della 2° Legge della dinamica.

Tale assioma può anche essere espresso come equazione matematica mediante la formula:

$$F=ma$$

in cui m è la massa del corpo e a è l'accelerazione subita dal corpo stesso, allorché esso è soggetto alla forza F .

Notiamo che sia l'enunciato verbale che la sua espressione matematica sono operativi: Possono essere indifferentemente utilizzati per risolvere un problema di fisica.

Quindi, come si diceva, l'espressione matematica del 2° principio della dinamica non è un corollario di qualche teorema, ma è direttamente l'espressione matematica dell'assioma.

Non sarebbe logico, né tanto meno corretto, derivare con argomentazioni di logica-matematica un corollario da tale espressione matematica, e poi adottare tale corollario come Principio in luogo dell'assioma originario.

Infatti, poiché un corollario consiste in una dimostrazione, la sua validità dipende dalla matematica utilizzata e quindi dai presupposti di tale matematica.

Un tale principio così derivato non potrà mai avere validità generale.

Questo concetto lo abbiamo verificato molto chiaramente nei precedenti capitoli, dato che abbiamo verificato che i presupposti della matematica costruttiva sono ben diversi da quelli della matematica classica, e che i corollari ottenibili da quest'ultima, in relazione al Secondo Principio della Termodinamica, sono diametralmente opposti a quelli deducibili con i presupposti della matematica costruttiva.

In sostanza, non è lecito “scoprire” un principio fisico con una dimostrazione matematica, poiché questa operazione equivale soltanto alla dimostrazione di un teorema.

Questo teorema, pertanto, può essere assoggettato solo ad una verifica di tipo logico-matematico, mentre il Metodo Sperimentale richiede che un principio possa sempre essere assoggettato soltanto a verifiche sperimentali.

Queste sono le ragioni per cui dedurre per via matematica un principio fisico non dovrebbe avere alcun senso in fisica.

8.4 ESERCIZIO PER I LETTORI

Dimostrare che un principio fisico può essere scoperto per via matematica.

8.5 TERZO PASSO: ABBANDONARE LA SCALA TERMODINAMICA ASSOLUTA DI TEMPERATURA DI KELVIN

Come si è visto, la cosiddetta “scala termodinamica assoluta”, oggi in vigore, ha meritato l'aggettivo “assoluto” perché trae origine dal teorema di CARNOT.

Poiché tale teorema non ha in effetti una dimostrazione condivisibile, e dato che nei precedenti capitoli sono state anche evidenziate alcune irrazionalità in tale scala, è diventato possibile, se non addirittura necessario, abbandonare la scala termodinamica di temperatura e ideare e rendere operativa una scala che si possa definire “assoluta” in quanto basata non più su un teorema, bensì su un fenomeno fisico che dipende soltanto dalla temperatura.

Le ragioni ulteriori che a mio avviso rendono necessario questo drastico passaggio, e un esempio di scala del genere, sono riportati in Appendice A.

8.6 QUARTO PASSO: RIESAMINARE GLI ESPERIMENTI FINALIZZATI ALLA COSTRUZIONE DELLA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA

Abbiamo visto che i Padri Fondatori fondarono la citata teoria nella seconda metà del diciannovesimo secolo a partire da un unico assioma il quale, a differenza di tutti gli assiomi relativi ad altri fenomeni fisici, esprimeva una impossibilità tecnologica per l'Uomo.

Dal momento che nel frattempo la tecnologia ha fatto giganteschi progressi, è diventato necessario accertare se la predetta impossibilità tecnologica per l'Uomo sia stata superata.

Fino a questo momento, infatti, la teoria del Secondo Principio della Termodinamica attualmente condivisa rendeva assolutamente incredibile qualunque affermazione relativa alla ideazione e costruzione di una macchina a moto perpetuo di seconda specie, dato che la sua esistenza sarebbe stata in aperta contraddizione con l'assioma posto a fondamento della teoria stessa.

Ora che la completa inutilità di tale assioma è stata accertata, bisogna andare alla ricerca dei lavori posti in essere per ideare una macchina a moto perpetuo di seconda specie.

Conosco piuttosto bene due di questi lavori, resi noti nel 1988 e nel 2000, entrambi dovuti ad un medesimo Scienziato.

Non mi risulta, ma sarei contento di essere smentito, che la Comunità Scientifica, nel suo insieme, abbia mostrato una qualche reazione di rilievo o di interesse nel venire a conoscenza di tali annunci che mettono clamorosamente in dubbio la teoria relativa al Secondo Principio della Termodinamica.

Tale mancanza di reazione collettiva potrebbe essere dovuta a un mix di incredulità e conservatorismo, ed inoltre al fatto essenziale che lo scienziato, inventore di tali macchine, non è riuscito a portare a termine un compito di gran lunga più difficile di quello di ideare una macchina del genere: Convincere la Comunità Scientifica che l'attuale versione del Secondo Principio della Termodinamica è errata.

8.7 LA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA AD EFFETTO TERMOIONICO NEL VUOTO PNEUMATICO

Verso la fine di Settembre 1988, l'agenzia Nuova Cina rende noto al mondo che uno scienziato Cinese, il Dr. Xu Yelin, ha inventato ed anche costruito una macchina termodinamica perfetta.



Fig. 8.1

Nella precedente Figura 8.1 sulla sinistra è mostrata la copertina della pubblicazione di YELIN, mentre sulla destra è riportato lo striminzito trafiletto che il quotidiano italiano IL MESSAGGERO ha dedicato a questo evento straordinario, relegandolo a pagina 11 del numero del 7 ottobre 1988.

Il laconico trafiletto riporta quanto segue:

“PECHINO – Uno scienziato cinese sostiene di avere inventato una macchina termodinamica perfetta, capace cioè di generare energia sfruttando solamente la temperatura ambiente. La notizia, riportata la settimana scorsa da fonti di stampa, ha ricevuto l'avallo della agenzia “Nuova Cina”, essendo la quale Xu Yelin, ricercatore presso l'istituto di biofisica dell'accademia delle scienze, ha già costruito e dimostrato il funzionamento della nuova macchina. Il dispositivo è capace, secondo il suo inventore, di generare una piccola corrente elettrica sfruttando la sola temperatura ambiente.”

Non mi fu facile, all'epoca, avere una copia del lavoro del Dr. Xu Yelin, pubblicato da SCIENCE PRESS - BEIJING – CHINA con il numero di ISBN 7-03-000802-2/O.207, seguito da 180-088 e recante la data interna del 5 Marzo 1988.

Il titolo di questa pubblicazione è molto eloquente: *“A Trial and Study on Obtaining Energy From a Single Heat Reservoir at Ambient Temperature”* (Un esperimento e studio per ottenere energia da una sola riserva di calore a temperatura ambiente).

Attualmente in rete si trova riscontro di tale pubblicazione al seguente indirizzo:

<https://www.worldcat.org/es/title/cong-dan-yi-shi-wen-huan-jing-huo-de-neng-liang-de-shi-yan-yu-yan-jiu-trial-and-study-on-obtaining-energy-from-a-single-heat-reservoir-at-ambient-temperature/oclc/818931876>

Da notizie raccolte in rete molto tempo dopo, risulta che il Dr. Xu Yelin abbia conseguito la laurea in fisica nel 1962 presso il Dipartimento di Fisica Moderna dell'Università di Lanzhou (Cina), è poi stato promosso a ricercatore senior (equivalente a professore) all'Istituto di Biofisica – Accademia Cinese delle Scienze, nel 1994. Non sono al corrente di altre successive notizie riguardanti YELIN.

La citata pubblicazione di YELIN è in Cinese ed Inglese, per cui è facilmente comprensibile dagli “addetti ai lavori”. Non so, però, quanto sia facile procurarsene una copia al giorno d'oggi. Infatti il numero ISBN riportato non viene riconosciuto dai nostri sistemi di classificazione. Tuttavia si può provare contattare le due librerie cinesi che detengono qualche copia del libro (Wuhan University e Guangzhou Library) tramite il precedente indirizzo web:

Nel seguito è riportata una sintesi di tale pubblicazione, non essendo possibile riportarla per intero. Fortunatamente, questa pubblicazione si può trovare nella rivista statunitense “Infinite Energy”, Volume 7, Issue 37 – 2001, reperibile in rete al seguente indirizzo:

https://www.infinite-energy.com/store/index.php?main_page=advanced_search_result&search_in_description=1&keyword=Issue+37

8.8 SINTESI DELLA MEMORIA DEL DR. XU YELIN SUL “DIODO NON-BIAS” A VUOTO PNEUMATICO

La macchina ideata da YELIN non presenta parti mobili; non c'è alcun fluido che compia cicli termodinamici e il sistema non somiglia a nessuna macchina termica fino ad allora conosciuta.

YELIN denomina tale macchina un “Non-bias diode”: un diodo (a vuoto pneumatico) privo di polarizzazione. Nella seguente Figura 8.2 è rappresentato lo schema del diodo Non-bias.

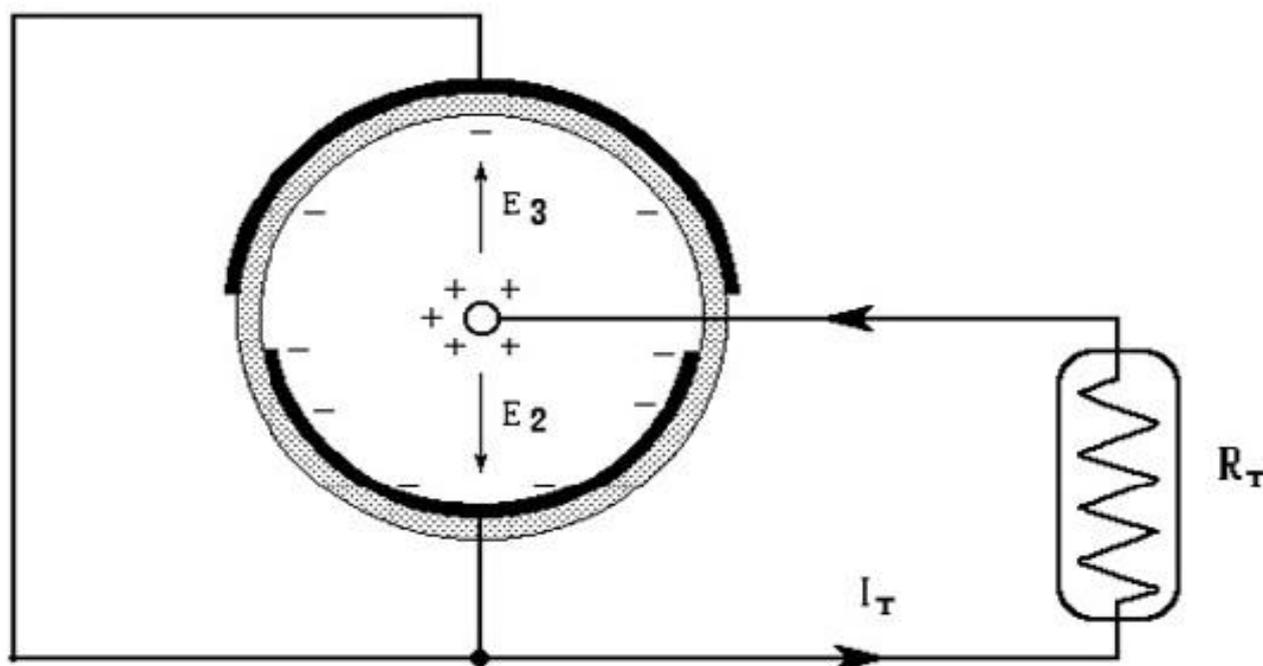


Fig. 8.2

Come si vede, il diodo è composto di un involucro di vetro ermeticamente chiuso e svuotato dell'aria. All'interno del contenitore vi sono due elettrodi, i quali sono composti da metalli diversi e preventivamente assoggettati a trattamenti superficiali diversi. Un elettrodo periferico è a forma di semi-cilindro, mentre l'altro è filiforme ed è centrato rispetto al primo. Vi è poi un elettrodo esterno ausiliario, avente la funzione di potenziare il flusso di elettroni.

Entrambi gli elettrodi emettono, spontaneamente, elettroni all'interno del recipiente vuoto a causa dell'effetto termoionico, con flussi dati dalla formula dovuta a Willans Owen Richardson (1879-1959), vincitore del Premio Nobel per la fisica nel 1928 per la scoperta del fenomeno dell'emissione termoelettronica. La legge che governa il fenomeno ha preso il suo nome.

Queste emissioni elettroniche sono spontanee, perché sono determinate dalla agitazione termica (la quale si manifesta anche a temperatura ambiente) di atomi, molecole o altri minuscoli componenti di sostanze, specialmente se di natura metallica. Questi

ultimi, infatti, hanno elettroni liberi o semi-liberi al loro interno e in superficie esterna.

Il dispositivo di YELIN è fatto in modo tale che il flusso di elettroni che viene “sparato via” dall'elettrodo centrale filiforme, che poi diventerà anodo o polo positivo, sia maggiore del flusso contrario, cioè da quello che proviene dall'elettrodo semi-cilindrico, che poi diventerà catodo o polo negativo.

I fenomeni di emissione e riassorbimento di elettroni sono di natura termodinamica, nel senso che è il calore, nella sua forma di vibrazione molecolare caotica, che fornisce l'energia necessaria per scacciare gli elettroni dal campo elettrostatico atomico che tende a trattenerli all'interno.

È ancora il calore ad essere coinvolto nel fenomeno inverso: l'impatto degli elettroni, che viaggiano nel vuoto pneumatico, contro l'elettrodo sulla superficie del quale finiscono la loro corsa.

Come si è detto, gli elettrodi del diodo sono stati costruiti in modo tale che ve ne sia uno più efficiente dell'altro in termini di emissione di elettroni.

L'idea di YELIN è quella di fare in modo che tra i due contrapposti flussi di elettroni vinca il più intenso tra i due, grazie anche all'azione elettrostatica di potenziamento dell'elettrodo esterno.

Gli elettroni emessi dall'elettrodo centrale vengono proiettati verso l'elettrodo interno semi-cilindrico, mentre quelli emessi da quest'ultimo vengono proiettati verso l'elettrodo centrale. I due flussi di elettroni sono contrapposti, ma è possibile che uno di essi possa restare quasi completamente azzerato a causa del campo elettrico antagonista che si forma spontaneamente tra i due elettrodi.

Quando un elettrone viene espulso dall'elettrodo, sottrae energia termica a tale elettrodo, dato che è il calore a consentirgli di vincere l'attrazione elettrostatica che tende sempre a trattenerlo.

Questo fenomeno di “evaporazione” dall'elettrodo tende a raffreddarlo.

Viceversa, quando un elettrone vagante nel vuoto pneumatico, colpisce l'elettrodo opposto (a quello dal quale egli proviene), cede una parte della sua iniziale energia (cede quella che gli è rimasta alla fine del percorso compiuto sotto l'azione del campo elettrico contrario), e questo impatto tende a riscaldare l'elettrodo che riceve l'elettrone stesso.

Secondo YELIN, rendere differenti i due flussi di elettroni determinerebbe una differenza di potenziale a generazione spontanea tra i due elettrodi.

L'analisi energetica del diodo non-bias elaborata da YELIN è riportata in Appendice D.

Se il risultato rivendicato da YELIN è effettivamente raggiunto, nel momento in cui un resistore R viene collegato agli elettrodi, un flusso di elettroni (corrente elettrica) diverso da zero inizia a fluire e si mantiene nel tempo.

In tale situazione, l'energia dissipata dalla corrente elettrica che percorre il resistore R deve trovare il suo equivalente nel calore sottratto da quell'elettrodo che, in media, subisce una sottrazione di elettroni in quanto ne emette più di quanti ne riceve.

Questo elettrodo, pertanto, si dovrebbe raffreddare rispetto al circostante ambiente, dato che, altrimenti, l'energia dissipata nel resistore R non sarebbe compensata da nulla (Primo Principio della termodinamica, o Principio di conservazione dell'energia).

Se tali condizioni vengono effettivamente raggiunte e si mantengono costanti nel tempo, non si crea energia dal nulla, in quanto l'energia dissipata nel resistore R proviene dall'energia sottratta all'ambiente che circonda il diodo grazie all'elettrodo interno che si raffredda.

Complessivamente, il dispositivo di YELIN consiste in due sistemi termodinamici contrapposti con differenti proprietà o, con termini impropri, con diverso “rendimento” di emissione elettronica.

Il fatto che l'aspetto generale del dispositivo sia proprio questo, può essere provato considerando che se l'elettrodo filiforme centrale e quello semi-cilindrico avessero la medesima capacità di emettere e di ricevere elettroni, non si potrebbe concepire il principio di funzionamento del diodo non-bias.

Bisogna anche notare che tale dispositivo non comprende una sola temperatura mentre è collegato con un carico resistivo; se funzionasse secondo gli intendimenti di YELIN, vi sarebbero almeno due temperature.

La prima, è la temperatura ambiente; la seconda (più fredda) è quella che si dovrebbe generare, spontaneamente, all'interno del diodo.

Il flusso di calore necessario a fornire l'energia dissipata nel resistore R sarebbe prodotto da tale differenza di temperatura, ma la sorgente che fornirebbe in effetti l'equivalente (sotto forma di calore) dell'energia dissipata nel resistore R sarebbe soltanto l'ambiente.

Il problema che la Comunità Scientifica doveva porsi, era quello di verificare se tale esperimento sia ripetibile da parte di sperimentatori indipendenti.

Non mi risulta, ma attendo di essere smentito se sbaglio, che tutto ciò sia avvenuto.

Se ciò non è avvenuto, probabilmente è perché la memoria di YELIN non è stata presa considerazione in quanto non è stata assoggettata al Processo di Revisione Paritaria.

O forse perché essa è stata respinta, o anche perché le riviste scientifiche qualificate non intendono pubblicare alcune tipologie di lavori, come ad esempio quelli che mettono in discussione il Secondo Principio della Termodinamica, e nel successivo Paragrafo

8.19 è riportato un esempio concreto di tale intenzionale chiusura assoluta.

Forse vi saranno stati molti scienziati, oltre a CHIATTI, a leggere la memoria di YELIN, ma io ritengo assai probabile che essi non abbiano avuto lo stesso coraggio mostrato da CHIATTI, temendo di esporsi al ridicolo commentando una memoria non recensita.

È un peccato che l'esperimento di YELIN non sia stato ripetuto da parte della Comunità Scientifica, perché YELIN afferma di essere riuscito a creare le ripetibili condizioni di funzionamento tramite un insieme di provvedimenti, come la forma degli elettrodi, la loro composizione chimica e il loro trattamento superficiale.

I risultati ottenuti da YELIN possono essere riassunti come segue.

Una batteria di 700 celle non-bias, accuratamente selezionate, è stata racchiusa in un contenitore molto ben isolato e schermato da influenze esterne ed esposto alle variazioni di temperatura ambientale, piuttosto lente, subite dal laboratorio e, in alternativa, anche in un termostato assieme al galvanometro.

Lo scopo dell'esperimento era quello di rilevare la curva di dipendenza tra corrente sviluppata e temperatura ambiente. Le celle sono state collegate in parallelo per aumentare la corrente complessiva di uscita.

A 27 gradi centigradi il sistema di 700 celle collegate in parallelo (ognuna simile a quella della precedente figura) produceva una forza elettromotrice a vuoto di 5.9 mV ed una corrente di corto circuito di $2.5 \cdot 10^{-9}$ A.

Con una resistenza di carico da 3.5 MOhm si aveva invece una differenza di potenziale ai suoi capi di 3.1 mV ed una corrente di $0.9 \cdot 10^{-9}$ A.

Alla temperatura di 32 gradi centigradi si aveva una corrente di corto circuito di $5.3 \cdot 10^{-8}$ A.

Nel corso del tempo, si è registrata una produzione di energia elettrica che seguiva l'andamento stagionale: Maggiore d'estate e minore d'inverno.

YELIN fornisce inoltre l'andamento della capacità di produrre corrente in funzione della temperatura del termostato.

Prima di pubblicare il suo lavoro, YELIN ha mantenuto l'apparecchio in funzione continuativamente per un anno senza mai riscontrare segni di diminuzione delle prestazioni.

Nella sua ultima lettera, YELIN mi comunicò che l'erogazione di elettricità è rimasta invariata in cinque anni di ininterrotto funzionamento.

8.9 REAZIONI MANIFESTATE DALLA COMUNITA' SCIENTIFICA A SEGUITO DELLA PUBBLICAZIONE DEL DR. XU YELIN

Quando ricevetti la pubblicazione della memoria di YELIN, mi resi conto che, sia pure in sordina, una Nuova Epoca stava piano piano iniziando.

Tuttavia, le reazioni manifestate dalla Comunità Scientifica a seguito della pubblicazione del lavoro teorico e sperimentale di YELIN si possono riassumere in poche parole: Quasi nulla, e quel poco contro le idee di YELIN - ma non subito.

Fu, infatti, solo nel 2007 (diciannove anni dopo il 1988) che un membro della Comunità Scientifica si interessò al lavoro di YELIN ed iniziò a pubblicare sull'argomento. Ma questo accadde soltanto perché nel 1993 pubblicai il citato libro (*Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale*), nel quale ponevo in evidenza l'importanza del lavoro di YELIN.

Questo membro della Comunità Scientifica è, come già detto, il Dr. Leonardo Chiatti: dirigente fisico del Servizio Sanitario Nazionale in servizio presso la sede A.U.S.L. di Viterbo (Italia).

Da quanto mi risulta, ma mi piacerebbe essere smentito, CHIATTI fu l'unico membro della Comunità Scientifica ad aver avuto il coraggio di pubblicare una memoria relativa al citato lavoro teorico e sperimentale di YELIN.

Sono molto grato a CHIATTI per questa sua iniziativa, anche perché egli colse l'occasione per prendere in considerazione il mio libro, sebbene non sottoposto alla Revisione Paritaria.

Il rapporto di reciproca stima ed amicizia che si instaurò con CHIATTI non mi impedisce di essere contrario alle sue considerazioni riguardanti lo studio di YELIN.

La memoria di CHIATTI, intitolata “*Has the second Law of Thermodynamics really been violated ?*”, infatti, è assolutamente **non** condivisibile a mio avviso. Mi auguro vivamente che questo mio severo giudizio sulla memoria di CHIATTI non comprometta il rapporto di amichevole e reciproca stima che si è creato. Credo, infatti, che non dovremmo trasformare divergenze di opinione in campo scientifico in antagonismi personali.

Questa memoria di CHIATTI è stata pubblicata in vari giornali di fisica online, come, ad esempio, il Cornell University Library, che l'ha ricevuta il 17 febbraio 2007. Tale pubblicazione è rintracciabile al seguente indirizzo web:

<https://arxiv.org/abs/physics/0702150>

In Appendice D, a disposizione dei lettori più interessati, è riportata la mia discussione della memoria di CHIATTI.

In questa parte principale del libro, mi limiterò a riportare soltanto alcune mie considerazioni di carattere generale.

Iniziamo a dire che nella sua memoria, YELIN riporta una analisi composta da una serie di equazioni per spiegare come il diodo funzioni e da dove provenga l'energia.

CHIATTI non si inerpica nell'analisi di queste equazioni per dimostrare che siano sbagliate, come invece a mio avviso avrebbe dovuto correttamente fare, ma aggira questo problema creando un suo ragionamento finalizzato a dimostrare che il diodo di YELIN non viola il Secondo Principio della Termodinamica.

Considerando, infatti, la memoria di CHIATTI nel suo significato più profondo, ho capito - ma attendo di essere smentito se sbaglio - qualcosa di sorprendente: CHIATTI non mette in discussione l'esito dell'esperimento di YELIN, ma lo inquadra in una categoria di fenomeni che non violerebbero la seconda legge della termodinamica nel suo vero significato.

Nel paragrafo “Conclusioni”, infatti, CHIATTI scrive:

*“Entrambi gli esperimenti condotti da Yelin e Sheehan come quello proposto da Vignati si riferiscono alla formazione di flussi stazionari (rispettivamente: una corrente elettrica e un fluido in moto) in sistemi che sono in equilibrio termico ad una certa temperatura **ma non sono in equilibrio termodinamico**. In entrambi i casi l'ambiente può essere rimpiazzato, come un semplice termostato, da una riserva termica con capacità sufficientemente alta alla stessa temperatura. Questa riserva può essere considerata come una componente dell'apparato, e abbiamo quindi la formazione – possibilmente spontanea – di flussi stazionari in sistemi isolati. In conclusione, pertanto, questi esperimenti semplicemente mostrano non che la seconda legge sia violata, ma che in sistemi isolati l'ordine può essere auto-generato nella forma di flussi stazionari, in aggiunta a gradienti statici. Questi fenomeni di auto-ordinamento, o di ordinamento auto-sostenuto, non violano*

la seconda legge dato che questa legge li proibisce solo nel caso più restrittivo di un sistema in equilibrio termodinamico.”

In altri termini, dice CHIATTI, **il fatto che il diodo non-bias emetta realmente una corrente elettrica**, non costituisce una violazione del Secondo Principio della Termodinamica, poiché tale Legge riguarderebbe soltanto i fenomeni in equilibrio termodinamico, mentre, secondo CHIATTI, il diodo non-bias non rientra in tale tipologia di fenomeni essendo soltanto un sistema in equilibrio termico.

Se si accetta il fatto che CHIATTI non mette in discussione l'esperimento di YELIN, allora si deve fare un passo indietro nella sua memoria, tornando alla metà circa del Paragrafo n. 2, dove, parlando del resistore R posto all'uscita del diodo non-bias, CHIATTI scrive:

“Se invece il carico è passivo (è costituito dal resistore R di cui sopra – ndr), questo lavoro è dissipato in calore nel carico; infatti, da $\Delta U=0$ segue $Q=L=eV$, che è una totale conversione di lavoro elettrico in calore. Ancora una volta, pertanto, non c'è alcuna conversione di calore ambientale in lavoro e quindi la seconda legge non è messa in discussione con tale apparato.”

Dunque, CHIATTI dapprima ammette che nel resistore l'energia elettrica viene effettivamente dissipata, subito dopo, invece, nega che l'equivalente di tale energia provenga dal calore estratto dall'ambiente che circonda l'apparato. Questi due concetti, tuttavia, sono contraddittori, dal momento che CHIATTI non spiega da dove provenga l'energia dissipata nel resistore R.

Dato che CHIATTI è convinto che ΔU sia uguale a zero, non può ritenere che l'energia dissipata dal resistore provenga dall'energia interna; né - sono sicuro - CHIATTI potrebbe mai ritenere che tale

energia sia creata dal nulla in violazione del principio di conservazione dell'energia.

Se quindi CHATTI è convinto che l'energia elettrica viene effettivamente dissipata nel resistore R e che non provenga dall'ambiente circostante, allora dovrebbe anche spiegare da dove essa proverrebbe. Attendo di essere smentito se mi sbaglio, ma non trovo questa spiegazione nella sua memoria.

Un secondo rilievo che qui ritengo di evidenziare, circa la memoria di CHIATTI, è il seguente: Egli cita una seconda memoria di YELIN (MISSILES AND SPACE VEHICLES No 3, 2000, Sum n. 245, p. 53-60) in cui è descritto un secondo diodo non-bias, questa volta a stato solido, il quale, secondo YELIN, sarebbe in grado di generare energia elettrica a spese del calore ambientale, senza che CHIATTI ne discuta minimamente.

Forse CHIATTI ha ritenuto di poter assimilare il funzionamento del diodo a stato solido con l'altro diodo non-bias a vuoto pneumatico, in base alla presunta appartenenza di entrambi alla categoria degli apparati in equilibrio termico ma non in equilibrio termodinamico.

Ritengo, al contrario, che una tale assimilazione non sia corretta, e che invece ci sia bisogno di una ulteriore e separata discussione sul diodo non-bias a stato solido di YELIN.

Infine, un terzo rilievo che qui ritengo di poter esprimere sulla citata memoria di CHIATTI è il seguente: il lavoro di YELIN non è soltanto di tipo teorico, che se così fosse, potrebbe essere discusso ed anche respinto con argomentazioni teoriche, ma consiste invece in un esperimento che mette in discussione un principio fisico.

È questo il motivo per cui la memoria di YELIN non può essere dismessa con argomentazioni teoriche come quelle di CHIATTI, il quale, tra l'altro, non ha contestato errori commessi da YELIN, né nella parte teorica né in quella sperimentale.

Poiché il lavoro di YELIN proviene da uno Scienziato, può essere dismesso solo se esperimenti contrari posti in essere da altri Scienziati dovessero dimostrare che il dispositivo non emette alcuna corrente elettrica.

8.10 LA MACCHINA TERMODINAMICA PERFETTA A STATO SOLIDO DEL DR. XU YELIN

In effetti, nel 2000 fu pubblicata da una rivista scientifica cinese “online” una seconda memoria di YELIN. Essa era relativa ad un altro dispositivo di sua invenzione, avente la capacità di convertire l'energia termica ambientale direttamente in energia elettrica.

Fu proprio CHIATTI ad informarmi di tale evento verso il 2003-2004, e anche di questa segnalazione gli sono molto riconoscente. Questa seconda memoria di YELIN è scritta solamente in Cinese, ma probabilmente è stata scoperta perché presenta un riassunto in lingua Inglese riportato alla fine, che recita come segue:

“Esperimento e analisi sul diodo nonbias”

Xu Yelin

(Istituto di Biofisica, Accademia delle Scienze Cinese, Pechino, 100101)

Abstract: Un diodo nonbias è un diodo che realizza la conduttività in un'unica direzione senza una corrente o un voltaggio di polarizzazione. A causa dell'agitazione termica degli elettroni di conduzione di un conduttore o semiconduttore, quando entrambi i terminali di un diodo nonbias sono collegati con un filo, una corrente continua che può pilotare un carico scorre lungo il filo. Sono state ora raggiunte le prestazioni di 100 mV e 0,1 microampere. Il voltaggio ha già raggiunto il suo picco mentre la corrente ha ancora grandi potenzialità di essere aumentata. Il diodo nonbias ha quindi un'ampia prospettiva di applicazione. Il presente

documento introduce il metodo di costruzione, i risultati di misura delle prestazioni, l'analisi del principio di funzionamento e l'analisi energetica del diodo nonbias. L'energia del diodo nonbias è il risultato di una effettiva applicazione del ciclo naturale.

***Parole-chiave:** diodo nonbias, Diodo piano parallelo, Moto termico di elettroni di conduzione, Buca elettronica, Applicazione effettiva del ciclo naturale, Ciclo energetico, Macchina a energia interna.”*

Restava la difficoltà di tradurre dal Cinese la parte centrale della pubblicazione. Come è noto, infatti, un nativo Cinese non è in grado di intuire il significato di quei caratteri della sua lingua dei quali non gli sia stato preventivamente spiegato il significato.

Nel caso specifico, si trattava di termini tecnico-scientifici, per comprendere i quali era necessario l'intervento di uno Scienziato Cinese.

Fu grazie all'intervento del Dr. Roberto Germano, che la traduzione in Inglese mi fu fatta pervenire, unitamente (e questo poi si rivelò importante) alla traduzione di un testo estratto da un Blog Cinese nel quale interveniva lo stesso YELIN.

Il Dr. Roberto Germano è un fisico con specializzazione in fisica della materia condensata ed è, tra l'altro, il fondatore e Amministratore della spin-off Company PROMETE Srl-CNR.

Il curriculum scientifico di GERMANO è troppo vasto per poterlo riportare adeguatamente, ma può essere facilmente reperito in rete.

Sono anche molto grato a GERMANO per avermi fornito gli indirizzi web ove rintracciare le domande di brevetto presentate in varie Nazioni dalla Accademia delle Scienze Cinese, in cui YELIN è indicato come Inventore del diodo non-bias a stato solido.

8.11 IL MISTERO DELLA MEMORIA DEL DR. XU YELIN SUL DIODO NON-BIAS A STATO SOLIDO

Come già detto, nel 2000 fu pubblicata in rete la citata memoria a firma di YELIN sul nuovo diodo non-bias a stato solido. Si tratta della rivista on-line MISSILES AND SPACE VEHICLES, che sul No 3, 2000, Sum n. 245, P. 53-60, pubblicava la citata memoria sul nuovo diodo non-bias a stato solido intitolata (come poi la traduzione rivelerà) “Experiment and Analysis on Non-bias Diode”.

Questa memoria rimase disponibile sul sito indicato per qualche anno. Successivamente, approssimativamente dopo il 2010, al suo posto, ovvero al medesimo indirizzo web, si trova una memoria che non ha nulla a che vedere con quella di YELIN.

È possibile avanzare varie motivazioni per tale sostituzione, ma io le lascio volentieri a Voi, lettori del futuro.

Colgo però l'occasione per sollecitare le competenti autorità Cinesi, qualora mai leggessero questo libro, a ripristinare la corretta corrispondenza dell'indirizzo web con la citata memoria di YELIN.

Se è stato possibile far scomparire dalla rete la memoria di YELIN sul diodo non-bias a stato solido, non è stato, però, possibile che le domande di brevetto relative a tale diodo sparissero da altri siti della rete.

8.12 LE DOMANDE DI BREVETTO SUL DIODO NON-BIAS A STATO SOLIDO

È l'Istituto di Biofisica – Accademia Cinese delle Scienze di Pechino - ad essere titolare di tutte le domande di brevetti relative al diodo non-bias a stato solido di YELIN presentate in Cina ed altre Nazioni.

Tali documenti si possono scaricare da diversi siti del web, come, ad esempio, quello Europeo, avente il seguente indirizzo web:

<https://www.epo.org/index.html>

Sarà dunque facile, per Voi, lettori del futuro, rintracciare le seguenti domande di brevetto depositate dall'Accademia Cinese:

Domanda di Brevetto in Cina: WO 01/17027 (A1), pubblicato 8-3-2001;

Altra domanda di Brevetto in Cina: ZL 00810105.1;

Domanda di Brevetto in U.S.A. US 6 768 177 (B1), pubblicato 27-7-2004;

Domanda di Brevetto in Inghilterra: GB 2369726 (A) + (B), pubblicato 5-6-2002;

Domanda di Brevetto in Germania: DE 10084887T (T1), pubblicato 8-3-2001;

Domanda di Brevetto in Austria: 3549600 (A);

Domanda di Brevetto in Giappone: 2003508918 (A);

Domanda di Brevetto in Europa: EP 1211732 (A1) + (A4), pubblicato 5-6-2002;

Domanda di Brevetto in Russia: 2002107778 (A);

Altra domanda di Brevetto in Russia: No 2212079.

C'è da notare che sono tre gli inventori indicati in tali domande di brevetto. Oltre a Xu Yelin, sono indicati come inventori anche Jiang Ling e Xu Qiang, ed anche che vi sono notevoli differenze tra le domande di brevetto sopra indicate.

La tecnologia impiegata per l'ideazione e la costruzione del nuovo diodo non-bias è quella tradizionale dei microcircuiti a stato solido. Il diodo è costituito da tre strati sovrapposti; i due strati esterni sono metallici mentre quello centrale è costituito da un semi-conduttore.

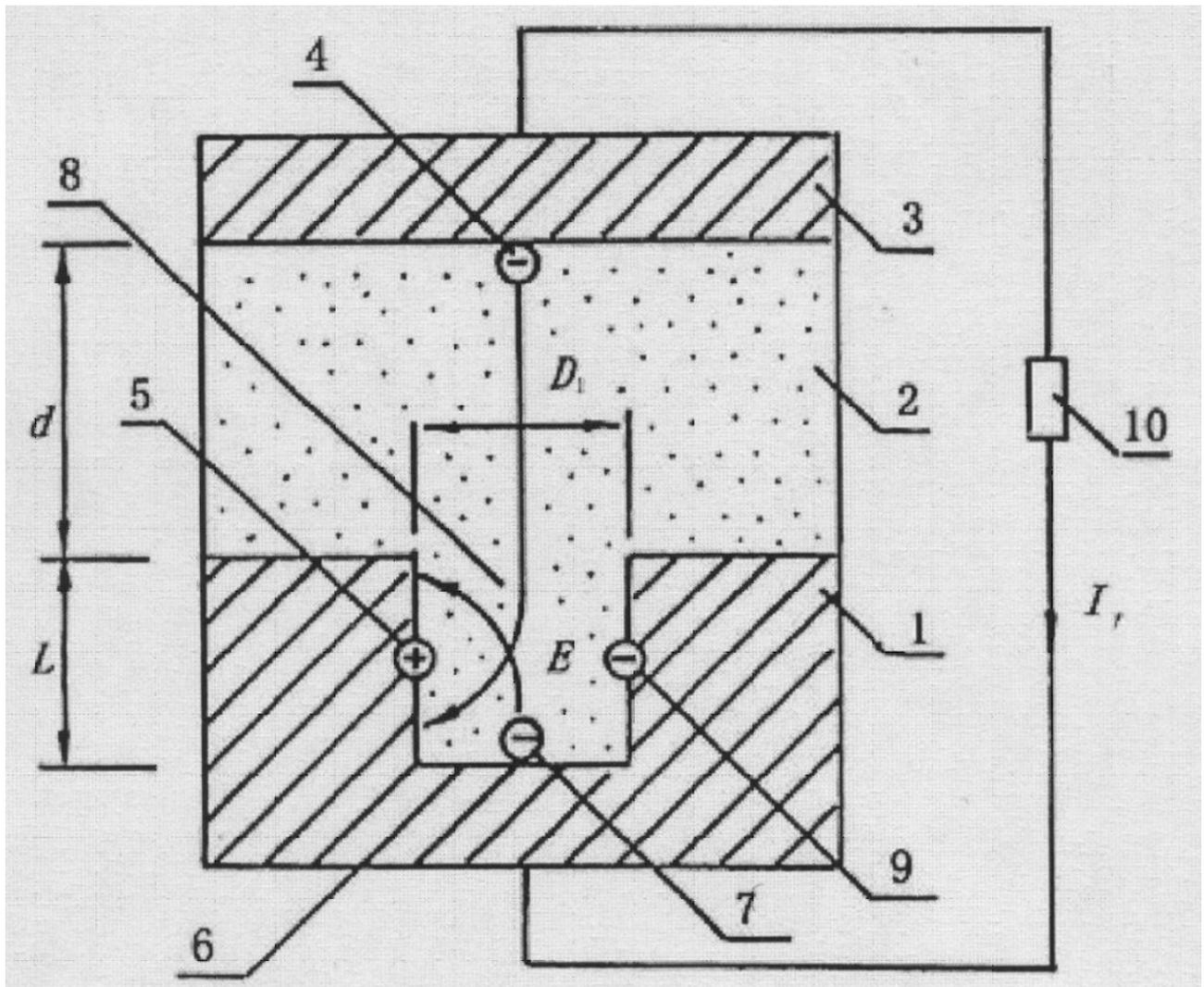


Fig. 8.3

Per avere un'idea del funzionamento di questo diodo non-bias, bisogna osservare la precedente Figura n. 8.3 estratta dal brevetto in U.S.A., identica alla Figura 5 riportata nella citata memoria scomparsa dalla rete.

Come si vede nella Figura, l'elettrodo superiore è piano mentre quello inferiore presenta una cavità.

La memoria di YELIN fatta scomparire dalla rete contiene i seguenti argomenti.

Secondo un atteggiamento pragmatico, tipicamente Cinese, vengono subito descritti i materiali necessari per costruire un diodo non-bias: Polvere di Silicio; Polvere di Cromo; Polvere di Germanio; Fosforo; Filamento di Tungsteno usato per un elettrodo; Piastra di vetro;

Kovar (lega metallica Nichel-Cobalto - ndr); Filo di Nichel-Cromo; Antimonio; Argo e Azoto.

Subito dopo, viene descritto il metodo di costruzione del diodo. In breve, il riscaldamento del filo di Tungsteno (sotto vuoto pneumatico: $5 \cdot 10^{-3}$ Pa) fa evaporare il Cromo che si depone all'interno.

Considerando attentamente la struttura del dispositivo di YELIN, ci rendiamo conto che in generale essa consiste nella contrapposizione di due sistemi con differenti proprietà termodinamiche o, con termini impropri, con diverso “rendimento” di emissione di elettroni.

Che sia proprio questo l'aspetto generale del dispositivo, può essere provato considerando che se l'elettrodo con superficie piena di “buche” (o più precisamente, “solchi”) nanometriche e l'elettrodo piano avessero la medesima capacità di emettere e di ricevere elettroni, non si potrebbe concepire il principio di funzionamento del diodo non-bias.

In effetti, il flusso di elettroni che viene espulso dall'elettrodo piano, che poi diventerà anodo o polo positivo, non deve essere bilanciato da quello che viene espulso dall'elettrodo con le buche affinché si possa concepire un principio di funzionamento.

Entrambi questi fenomeni sono termodinamici, nel senso che è il calore ambientale, nella sua forma di vibrazione microscopica caotica, che fornisce l'energia necessaria per generare ciascun flusso elettronico, vincendo il campo elettrostatico superficiale che tende a trattenere gli elettroni dentro il metallo.

Un elettrodo è stato costruito in modo tale da essere più efficiente dell'altro, in questo tipo di emissione, e dato che i flussi di elettroni sono contrapposti, si fa in modo che vinca il più intenso.

È ancora il calore ad essere coinvolto nel processo inverso, cioè l'impatto degli elettroni su un elettrodo. Infatti, nel momento in cui

gli elettroni impattano su un elettrodo, essi cedono a questo elettrodo l'energia che essi possiedono al termine del loro percorso, cioè quando il campo elettrico termina di influenzare il loro moto.

Ci si può chiedere se un tale dispositivo, qualora il suo funzionamento venisse confermato, possa fornire correnti utilizzabili in pratica.

Secondo la (ora scomparsa) memoria di YELIN pubblicata in rete, questo aspetto sarebbe condizionato da due fattori: 1) Il drogaggio del semi-conduttore; 2) Le dimensioni delle buche, o meglio solchi.

YELIN ha valutato l'influenza dei due predetti fattori e, per quanto riguarda il drogaggio, afferma che, a seconda del tipo di drogaggio e natura del semi-conduttore, la densità di corrente di uscita potrebbe variare in un intervallo relativo che va da 0,01 a 5,0.

Per quanto riguarda il fattore relativo alle dimensioni dei solchi, YELIN ha elaborato una tabella fornisce la corrispondenza tra densità di corrente di uscita e dimensione delle buche.

Si parte da una densità di corrente di $0,24 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ per la dimensione di 0,7 micron, per arrivare a 800 A/cm^2 per la dimensione di 0,008 micron.

Collegando in serie un sufficiente numero di questi dispositivi, per raggiungere un voltaggio sufficientemente elevato, si potrebbe alimentare il motore di una autovettura elettrica completamente priva dell'accumulatore di elettricità.

Per quanto riguardo l'aspetto termico del diodo non-bias, bisogna considerare che tale dispositivo, se funzionasse secondo gli intendimenti di YELIN, dovrebbe possedere due temperature, sia pure diverse tra loro di pochissimo.

La prima è la temperatura ambiente; la seconda, poco più fredda, è quella che si dovrebbe generare, spontaneamente, all'interno del

diodo nel momento in cui esso venisse collegato ad un carico resistivo.

Il flusso di calore necessario a fornire l'energia dissipata nel resistore R sarebbe determinato da tale differenza di temperatura, ma in effetti solo la sorgente costituita dall'ambiente fornirebbe l'equivalente, in termini di calore, dell'energia dissipata nel resistore R.

I contenuti del Blog cinese scoperto da GERMANO sembrano confermare le precedenti considerazioni. In quel Blog del 2005, infatti, risulta che sia intervenuto lo stesso YELIN, il quale avrebbe dichiarato di aver riscontrato una lievissima diminuzione di temperatura durante il funzionamento del diodo non-bias.

In Appendice D è riportato sia il Blog originale in Cinese, sia la sua traduzione ricevuta da GERMANO.

8.13 LA BATTERIA AL GRAFENE

Nel Marzo 2012, è comparsa in rete una memoria dal titolo altrettanto sconvolgente come quella di YELIN. Tale memoria, intitolata “*Self-Charged Graphene Battery Harvests Electricity from Thermal Energy of the Environment*” (Batteria auto-caricante al Grafene ottiene elettricità dall'energia termica dell'ambiente) è dovuta a Zihan Xu (Politecnico Universitario di Hong Kong – Dipartimento di Fisica Applicata e Centro di Ricerca dei Materiali – Nanjing - Cina); Guan Tai (come il precedente, ma anche Laboratorio Statale di Meccanica e Controllo di Strutture Meccaniche – Nanjing - Cina); Yungang Zhou e Fei Gao (Laboratorio Nazionale Pacific Northwest Washington - U.S.A); e Kin Hung Wond (Politecnico Universitario di Hong Kong – Dipartimento di Fisica Applicata e Centro di Ricerca dei Materiali – Nanjing – Cina).

Questo documento è reperibile in diversi indirizzi di rete, come, ad esempio.

<http://rexresearch.com/xugraphene/xugraphene.htm>

Nell'*abstract*, gli autori ricordano che l'energia ionica dovuta all'agitazione termica è presente dappertutto, e che la sua entità è pari a circa 4 kJ/kg K (4000 Joule per ogni kg di massa e per ogni grado Kelvin) in soluzione acquosa, dove la velocità termica degli ioni è dell'ordine di centinaia di metri al secondo a temperatura ambiente.

Essi ricordano inoltre che la velocità termica degli ioni si mantiene grazie all'ambiente esterno che è **illimitato**.

Nello loro studio teorico e sperimentale, gli autori presentano un dispositivo al grafene con una configurazione asimmetrica di elettrodi per catturare la suddetta energia termica ionica e convertirla in elettricità.

I risultati sperimentali mostrano una tensione di uscita di 0.35 V quando il dispositivo è stato immerso in una soluzione satura di $CuCl_2$ (cloruro di rame), valore che è rimasto costante per oltre venti giorni, mentre la densità di potenza tipica era all'incirca di 70 kW/kg.

Tramite esperimenti, tutti molto ben documentati, gli autori sono riusciti a dimostrare che l'energia elettrica sviluppata non può provenire da reazioni chimiche.



Figura 8.4 - Tratta dal sito web sopra citato

Il dispositivo è molto semplice, ed è composto da due elettrodi, uno di oro e l'altro d'argento, collegati alle due estremità di uno strato monoatomico di grafene (vedi Figura).

L'energia elettrica compare quando detto sistema viene immerso nella soluzione satura di $CuCl_2$.

L'interpretazione fornita dagli autori è che gli ioni presenti nella soluzione vadano a colpire lo strato di grafene strappandogli elettroni, i quali trovano minore resistenza a percorrere longitudinalmente il grafene rispetto a quella che incontrerebbero nel percorrere la soluzione.

Secondo gli autori (p. 23), la direzione della corrente elettrica sarebbe determinata dal fatto che il dispositivo è asimmetrico rispetto agli elettrodi, in quanto la funzione di lavoro dell'oro (5.0 eV) è maggiore di quella del grafene (4.6 eV), mentre la funzione di lavoro dell'argento è ancora più bassa (4.26 eV).

Mi sembra importante sottolineare che gli autori non fanno alcun cenno alla palese violazione del Secondo Principio della Termodinamica che il loro dispositivo determinerebbe.

Lascio a Voi, lettori del futuro, il compito di cercare notizie di eventuali sviluppi relativi a detto esperimento.

È molto interessante notare che il dispositivo è composto da due sistemi contrapposti con diverse proprietà termodinamiche. In analogia con i due sistemi ideati da YELIN, anche la cella al grafene è costituita, nelle linee generali, dalla contrapposizione di due sistemi termodinamici con differenti proprietà o, con termini impropri, con diverso “rendimento” di emissione elettronica.

Che sia proprio questo l'aspetto generale del dispositivo, può essere provato considerando che se entrambi gli elettrodi fossero costituiti dal medesimo metallo (vuoi entrambi d'oro, oppure d'argento), non sarebbe più possibile individuare nessun principio di funzionamento del dispositivo.

Anche tale dispositivo, qualora funzionasse secondo gli intendimenti degli inventori, non comprenderebbe una sola temperatura, ma vi sarebbero almeno due temperature. La prima, è la temperatura ambiente; la seconda, più fredda, è quella che si dovrebbe generare, spontaneamente, all'interno del dispositivo.

Il flusso di calore necessario a fornire l'energia dissipata nel resistore R sarebbe prodotto da tale differenza di temperatura, ma in effetti solo la sorgente costituita dall'ambiente fornirebbe l'equivalente, in calore, dell'energia dissipata nel resistore R.

8.14 “QUENCO”: IL CONVERTITORE DI ENERGIA TERMICA A SALTO QUANTICO DI ELETTRONI

Nel marzo 2013, la rivista *Nexus New Times* (edizione Italiana) ha divulgato un'altra sconvolgente notizia relativa al Secondo Principio della Termodinamica (nella edizione in Inglese il mese di pubblicazione è diverso).

La rubrica “SCIENCE NEWS” di quel numero 102 della Rivista in Italiano, a cura della Direzione, era intitolata: “*Quenco: un convertitore di energia quantica*”. Nelle pagine 49 e 50 veniva riportato il comunicato-stampa rilasciato dagli inventori per annunciare l'imminente lancio commerciale di un convertitore di energia termica battezzato “Quenco”. Nella versione in Inglese, tale notizia si trova nel Vol. 20 N. 1 December 2012-January 2013.

<https://nexusmagazine.com/product/nexus-vol-20-no-1-december-2012-january-2013/?v=cd32106bcb6d>

L'annuncio comprendeva il riassunto tratto dalla domanda di brevetto depositata online il 16 Ottobre 2012. Il nome QUENCO, dato dagli inventori a questo dispositivo, è l'acronimo di “Quantum Energy Convertor”.

Il pezzo pubblicato da Nexus New Times riportava le fonti della notizia; si trattava del sito web KeelyNet.com, 26 Ottobre 2012; homepage di Quenco, 24 ottobre 2012

<http://www.quentron.com>.

I contenuti di quel sito (oggi scomparsi dalla rete, ma in parte riportati in Appendice D), davano qualche informazione sul principio di funzionamento di questo dispositivo.

Secondo il Comunicato-stampa, il Quenco funzionerebbe grazie al fenomeno fisico del salto quantico di elettroni attraverso una barriera elettricamente isolante interposta tra due metalli (il cosiddetto “effetto-tunnel”), purché essa sia di piccolissimo spessore: dell'ordine di 1 nm (un nanometro).

Si fa notare che anche a temperatura ambiente, pari a 20 °C o 293 K (293 gradi Kelvin), vi sono elettroni liberi o quasi liberi, che, grazie alla perenne agitazione termica delle molecole (vedi: Moti Browniani), hanno energie cinetiche equivalenti a temperature anche di 600 K (600 gradi Kelvin, pari a circa 327 °C).

Ma è noto che questi valori dipendono dalla natura dello strato superficiale del metallo. Pertanto, se da quel lato della barriera che diventerà anodo si mette un metallo con lavoro di estrazione basso, e nell'altro lato che diventerà catodo si mette un metallo con lavoro di estrazione alto, a parità di temperatura vi saranno molti più elettroni che saltano dall'anodo al catodo.

Senza alcun dubbio, anche il dispositivo Quenco, basato su una sottilissima barriera elettricamente isolante interposta tra due conduttori con diversa composizione, è composto, nella sua struttura generale, da due sistemi termodinamici contrapposti (ovvero che lavorano in contrapposizione) in cui uno prevale sull'altro.

In analogia con i due sistemi ideati da YELIN e dagli inventori della cella al grafene, anche il Quenco è costituito, nelle linee generali, dalla contrapposizione di due sistemi termodinamici con differenti proprietà o, con termini impropri, con diverso “rendimento” di emissione elettronica.

Che sia proprio questo l'aspetto generale del dispositivo, può essere provato considerando che se i due elettrodi fossero composti dello stesso metallo, o se il dispositivo fosse tale da rendere identici i due contrapposti flussi di elettroni, non si potrebbe più individuare alcun principio di funzionamento.

Sembra evidente che anche tale dispositivo non comprenda una sola sorgente di calore; se funzionasse secondo gli intendimenti degli inventori, vi dovrebbero essere due fonti di calore a temperature diverse tra loro. La prima dovrebbe corrispondere all'ambiente, con la sua temperatura variabile; la seconda, meno calda, comparirebbe spontaneamente e consisterebbe in una zona interna al dispositivo.

Per quanto riguarda il flusso di calore necessario a fornire l'energia dissipata nel resistore di carico, esso sarebbe prodotto da tale differenza di temperatura e pertanto verrebbe dall'ambiente e

sarebbe diretto verso la suddetta zona interna meno calda. Quindi, in effetti, solo la sorgente costituita dall'ambiente fornirebbe l'equivalente (in termini di calore) dell'energia dissipata nel resistore di carico.

La struttura descritta sarebbe in grado di favorire il salto quantico in una direzione rispetto alla direzione contraria. In questo modo, l'elettrodo nel quale gli elettroni dovrebbero in maggioranza convergere acquisterebbe una carica elettrica negativa, la quale tenderebbe a rallentare l'arrivo di ulteriori elettroni.

Tali elettroni, quindi, “... *perdono velocità (diventano più freddi) ma guadagnano energia potenziale (energia elettrica potenziale). Quenco è perciò una perfetta realizzazione del Diavoleto di Maxwell e quindi, secondo il pensiero corrente, viola la Seconda Legge della Termodinamica, sebbene, in realtà esso potrebbe solamente provare che le interpretazioni di Kelvin-CLAUSIUS erano errate.* (tratto dal comunicato-stampa - ndr)”

Secondo la pagina rilasciata sul web il 3 Novembre 2013 da Quenco (Quantum Energy Convertor) - Home (vedi Appendice D), era attesa immediatamente una produzione di corrente elettrica di circa 1 Ampere per centimetro quadrato a temperatura ambiente. Ma tramite l'impiego di metalli a più basso lavoro di estrazione, era previsto il raggiungimento di ben 10000 A/cm².

Se questi dati fossero raggiunti, collegando in serie un sufficiente numero di questi dispositivi per raggiungere un voltaggio sufficientemente elevato, si potrebbe alimentare il motore di una imbarcazione.

Si potrebbe così realizzare ciò che KELVIN riteneva impossibile nella Nota * contenuta a pagina 13 della sua memoria del 1851 :

“*Se questo “assioma” non fosse valido per tutte le temperature, si dovrebbe ammettere che una macchina autonoma potrebbe essere*

messa in funzione e produrre effetto meccanico tramite il raffreddamento del mare o della terra, senza nessun limite salvo quello della totale fuoriuscita di calore dalla terra e dal mare, o, in realtà, dall'intero mondo materiale”.

8.15 ESERCIZIO PER I LETTORI

Lascio a Voi, lettori del futuro, il compito di scoprire che fine abbiano fatto le domande di brevetto del dispositivo QUENCO, non solo quella depositata il 16 Ottobre 2012 dall'inventore HARDCASTLE Julian Philip, ma anche quelle relative alle sue successive domande di brevetto (depositate nel 2014 e nel 2017) che si possono rintracciare registrandosi nel sito web

<https://wipo.int/portal/en/index.html>

8.16 IL SEMPLICE ESPERIMENTO DI PHILIP HARDCASTLE

Nella Pagina 49 di quel numero di Marzo 2013 della rivista Nexus New Times (ed. Italiana) già citato, era riportata la notizia di un esperimento, incredibilmente semplice, che chiunque può fare per dimostrare la violazione dell'assioma di KELVIN.

Secondo la notizia dovuta a Philip Hardcastle, risalente al 22 Ottobre 2012, si tratta di prendere una valvola termoionica (nel caso in questione, il pentodo Philips E180F) e collegare insieme con un filo conduttore anodo e griglia n. 3 (griglia di soppressione) per costituire il primo elettrodo. L'altro elettrodo è costituito dal catodo. Tutti gli altri elettrodi sporgenti dal tubo a vuoto, secondo HARDCASTLE, possono essere tagliati via.

La fonte giornalistica riporta che mettendo il pentodo in un forno, ai capi dei due elettrodi non collegati ad alcun carico resistivo compare una tensione elettrica che, alla temperatura di 500-550 °C, può raggiungere il valore di circa 850 mV.

Collegando invece i due elettrodi ad un carico, la corrente elettrica raggiunge pochi pA (pico Ampere) al di sotto dei 400 °C, mentre può salire a valori di qualche μ A (micro Ampere) verso i 500 °C.

Sembra di capire che questo sistema funzioni come un diodo non-bias di YELIN. In effetti, il pentodo è sotto vuoto pneumatico; anodo e terza griglia sono composti da metalli con basso coefficiente di emissione mentre il catodo ha uno strato superficiale ad alto coefficiente di emissione, e/o a basso lavoro di estrazione elettronico.

Inoltre, poiché il pentodo è contenuto nel forno, ogni sua parte assume la temperatura del forno stesso e quindi non si possono creare differenze interne di voltaggio tra metalli.

La somiglianza con il dispositivo di YELIN appare evidente anche nel funzionamento: Il catodo, grazie agli elementi a basso lavoro di estrazione di cui è composto, emette molti più elettroni per effetto termo-ionico rispetto ad anodo e 3° griglia, per cui il catodo diventa positivo e l'anodo negativo.

Gli ulteriori elettroni sparati dal catodo verso l'anodo devono vincere il campo elettrico contrario che si forma spontaneamente all'inizio che tende a rallentarli (ciò che equivale al loro raffreddamento), esattamente come nei diodi di YELIN e nel convertitore Quenco.

Se anodo e catodo avessero eguali proprietà di emissione e di ricezione dei due flussi contrapposti di elettroni, l'esperimento di HARDCASTLE non potrebbe riuscire.

8.17 QUINTO PASSO: PROPORRE ED EFFETTUARE UN EXPERIMENTUM CRUCIS PER IL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

I dispositivi citati in precedenza non sono stati inventati e costruiti da sprovveduti e isolati inventori, ma da scienziati inseriti in Enti Universitari e di ricerca, ed anche da imprenditori.

Poi abbiamo visto addirittura l'esperimento di Philip Hardcastle che chiunque può fare per verificare la violazione dell'assioma di KELVIN. Sono convinto che ve ne siano molti altri del genere, i quali, però, non sono noti a causa della generale incredulità che li ha sottratti alla divulgazione.

Tuttavia, è arrivato a mio avviso il momento di prenderli tutti in seria considerazione.

Si renderà, pertanto, necessario ideare e realizzare un experimentum crucis per questo Principio, perché sarebbe impensabile ripetere il principale errore commesso da dei Padri Fondatori: sviluppare la teoria del Secondo Principio della Termodinamica senza la base di un experimentum crucis.

8.18 PERFEZIONAMENTO DELL'ESPERIMENTO DI PHILIP HARDCASTLE

Lo scopo dell'esperimento realizzato dall'autore è quello di perfezionare il semplice esperimento di HARDCASTLE descritto nel precedente Paragrafo 8.16, per verificare se viene contraddetta l'impossibilità, espressa in vari modi dalla teoria del calore attualmente condivisa, di ottenere energia meccanica dal calore tramite un meccanismo privo di radiatore di calore.

In altri termini, la attuale teoria prevede che **per ricavare energia meccanica dal calore, non solo bisogna utilizzare un meccanismo con almeno due sorgenti di calore a diverse temperature, ma è anche necessario che la sorgente più fredda riceva una certa quantità di calore che deve essere dispersa nell'ambiente circostante, restando perduta per l'Uomo.**

Come vedremo, invece, l'esito dell'esperimento descritto nel seguito contraddice l'assioma fondamentale del Secondo Principio della Termodinamica.

Da quanto risulta, la Comunità Scientifica non ha preso in considerazione l'idea di sottoporre il Secondo Principio della Termodinamica ad un experimentum crucis. Ciò è avvenuto, molto probabilmente, per una serie di circostanze descritte in precedenza, le quali sono tutte basate sulla granitica convinzione della validità della teoria termodinamica dei Padri Fondatori: KELVIN e CLAUSIUS.

Questa convinzione si è eretta, come una immensa barriera psicologica, ad impedire di ravvisare gli errori di Logica introdotti dai due Padri Fondatori. Se la Comunità Scientifica prenderà atto di tali errori, in precedenza evidenziati, più nulla potrà impedire la realizzazione di un experimentum crucis per il Secondo Principio della Termodinamica.

Il semplice esperimento di HARDCASTLE sembra essere adatto a tale scopo; esso è basato sullo stesso principio di funzionamento del diodo non-bias a vuoto pneumatico di YELIN descritto nel [Paragrafo 8.7](#): la contrapposizione di due sistemi aventi diversa capacità di emissione di elettroni nel vuoto.

La differenza consiste nel fatto che per il dispositivo di YELIN la corrente di uscita assume valori misurabili alla temperatura dell'ambiente, mentre per il singolo pentodo di HARDCASTLE ciò accade solo ad alte temperature.

Dal punto di vista teorico, tuttavia, non c'è alcuna differenza tra i due metodi sperimentali di cui sopra; c'è invece una notevole differenza da un punto di vista pratico: mentre YELIN ha dovuto costruire un numero imprecisato di diodi non-bias per poter selezionare 700 unità da collegare in parallelo, HARDCASTLE ha

potuto facilmente acquistare ed impiegare una sola valvola termoionica.

Il sistema di HARDCASTLE sembra essere preferibile, rispetto a quello proposto da YELIN, anche per un altro motivo: mentre YELIN ha dovuto utilizzare un sensibile galvanometro per misurare i 5.9 mV, HARDCASTLE ha potuto utilizzare un normale oscilloscopio per misurare 800 mV.

Nel seguito è descritto un esperimento realizzato dall'autore, consistente in un perfezionamento di quello proposto da HARDCASTLE.

8.18.A) DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO

Il dispositivo sperimentale realizzato è composto, nelle sue linee essenziali, di pochi elementi; il primo è un contenitore di Alluminio di forma cilindrica diviso in due parti ricongiungibili (vedi la seguente Figura)



Fig. 8.5

Lo spessore di oltre 20 mm delle pareti del cilindro contribuisce a stabilizzare e rendere circa uniforme la temperatura al suo interno. La Figura seguente mostra il disegno in sezione dei due semi-cilindri ricongiunti (dimensioni in mm).

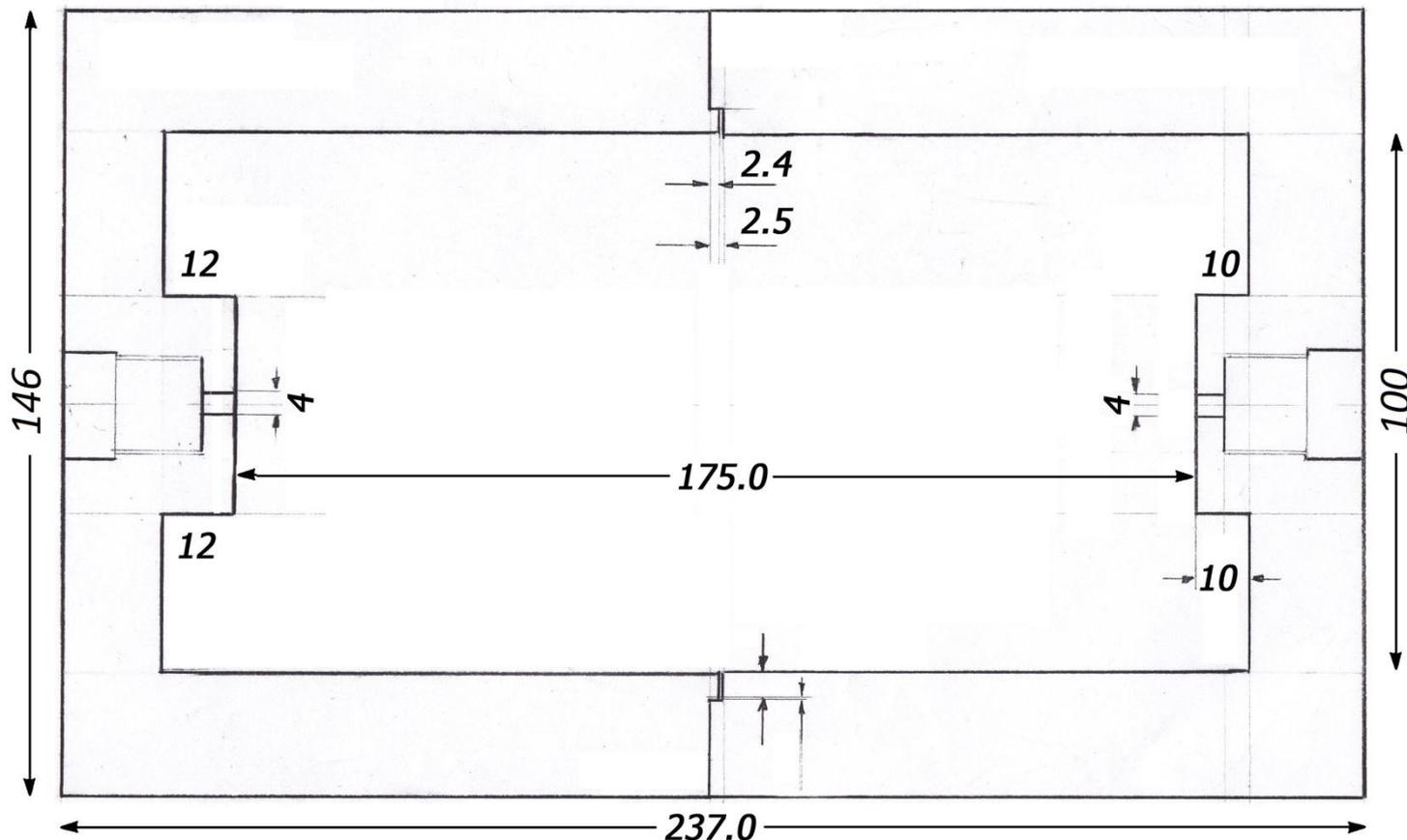


Fig. 8.6

Nella cavità cilindrica interna, del diametro di 100 mm, vi è posto per un certo numero di tubi termoionici.

Tale contenitore può essere a sua volta inserito, e posto in stretto contatto termico, con un forno elettrico di forma circolare mostrato nella seguente Figura.



Fig. 8.7

La Figura ancora seguente mostra il forno serrato attorno al contenitore cilindrico.



Fig. 8.8

Il tutto può essere ulteriormente isolato dall'ambiente tramite materiali cattivi conduttori di calore.

Un foro laterale consente di inserire una termocoppia nel mezzo della cavità cilindrica per la misura della temperatura interna. Un piccolo foro praticato sulla base superiore del contenitore cilindrico consente di far fuoriuscire due fili metallici di uguale composizione chimica (Rame, ottone o Argento) per il collegamento con un misuratore di potenziale elettrico; ogni filo è inserito in una calza elettricamente isolante fatta di lana di roccia. Inoltre, una calza schermante di rame ingloba i due fili metallici per schermarli contro i disturbi elettrici,

La lunghezza di questi fili (e della calzamaglia schermante) è di circa 60 cm – ciò consente di allontanare le estremità dei due fili dal forno per potervi collegare uno strumento di misura del voltaggio di uscita.

I tubi termoionici utilizzati sono tutti del tipo 3Q4, identico anche a DL95, CV818, VT-264, DL94 eccetera. Per poter effettuare molti esperimenti, sono stati impiegati 80 tubi 3Q4 di produzione RCA, tutti nuovi e contenuti nelle scatole di cartone originali.

Le piccole dimensioni di questo pentodo consentono di alloggiarne un numero massimo di 48 all'interno del contenitore cilindrico. La seguente Figura mostra l'assemblaggio di 32 di tali tubi (16 per ogni sezione).



Fig. 8.9

Per ottenere questa concentrazione di tubi, è stato necessario realizzare una serie di supporti circolari metallici, dotati di forature per alloggiare i supporti dei tubi. La seguente Figura mostra alcuni di tali supporti con i connettori.

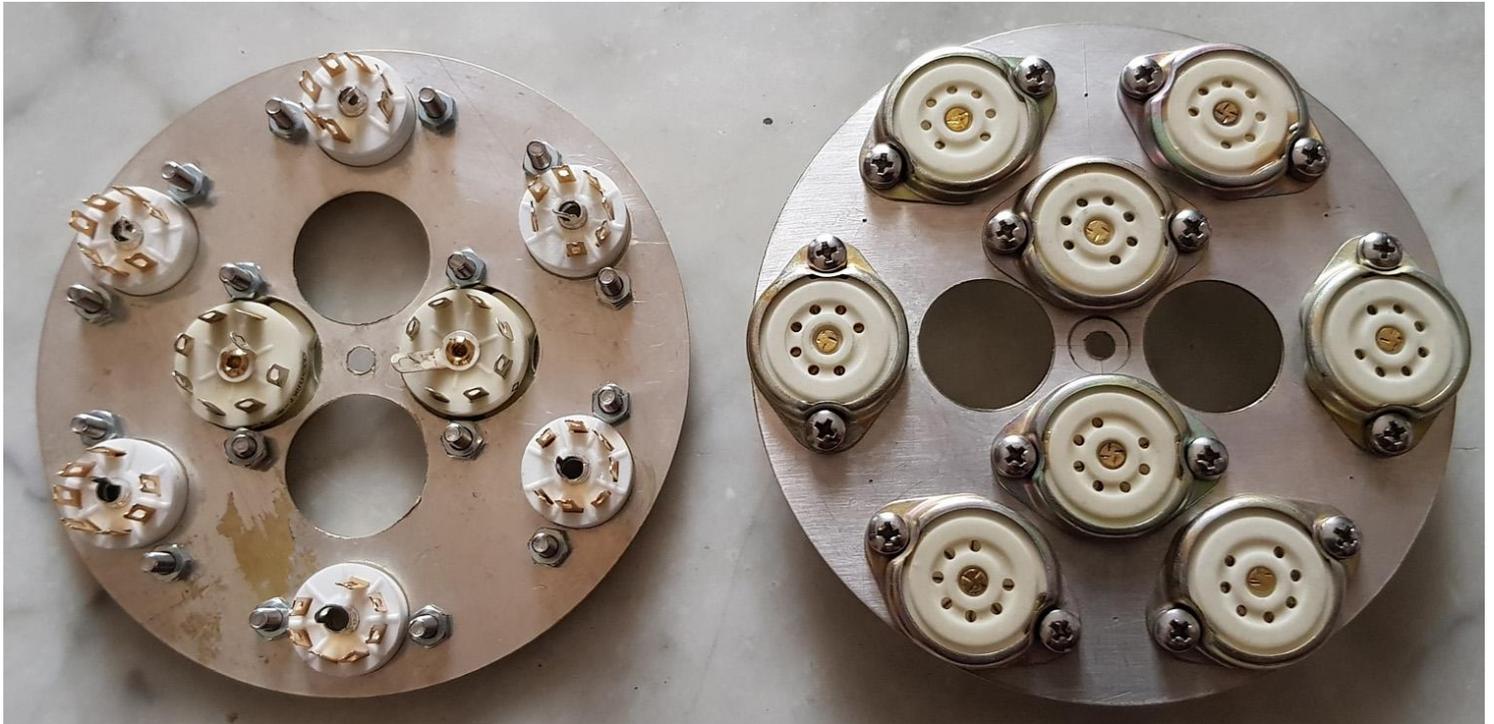


Fig. 8.10

L'isolamento elettrico tra due sezioni di 16 tubi è stato ottenuto interponendo dei dischi fatti di Mica, un minerale resistente ad alte temperature.

Il collegamento elettrico tra i tubi termoionici può essere realizzato secondo vari schemi.

Il valore del potenziale elettrico esistente tra questi due fili di rame è stato misurato mediante un sensibilissimo voltmetro elettronico professionale avente una risoluzione di sei-sette cifre decimali.

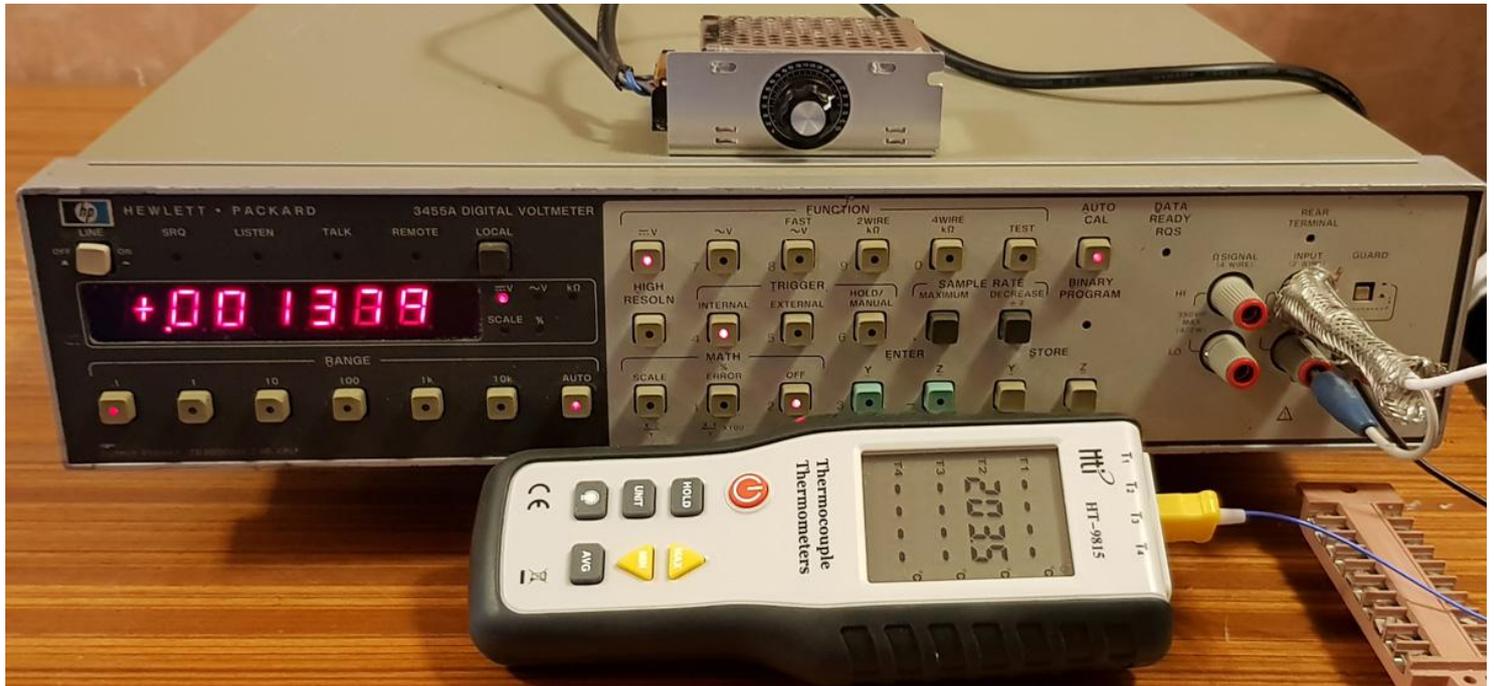


Figura8.11

La precedente Figura mostra questo voltmetro Hewlett-Packard HP3455A, il misuratore di temperatura a termocoppia e il variatore di potenza per alimentare la resistenza elettrica del forno.

Il voltmetro elettronico ha una resistenza di ingresso elevatissima, uguale a 10^{10} Ohm per il campo di tensioni da 0,1 a 10 V. Pertanto, è stato necessario adottare i seguenti provvedimenti per evitare che campi elettrici statici, eventualmente presenti nelle vicinanze, potessero influenzare le misure:

- 1) Utilizzare una calza metallica di rame per schermare tutto il percorso dei fili metallici fino al voltmetro elettronico;
- 2) Collegare tra i due fili metallici di uscita un resistore del valore di 1 MOhm;
- 3) Collegare a terra sia il contenitore di Alluminio che la calza metallica, secondo una schema ben preciso, ovvero con un unico punto di collegamento a terra.

Per determinare il tipo di collegamento elettrico con gli elettrodi dei tubi 3Q4 che assicura il migliore valore di tensione di uscita, sono state effettuate le seguenti prove preliminari. Innanzi tutto, dei

conduttori di rame sono stati saldati a stagno agli elettrodi del connettore in steatite di un singolo tubo 3Q4, collegandone gli estremi ad una morsettiera in modo da poter misurare i vari voltaggi di uscita, come mostrato nella seguente figura.

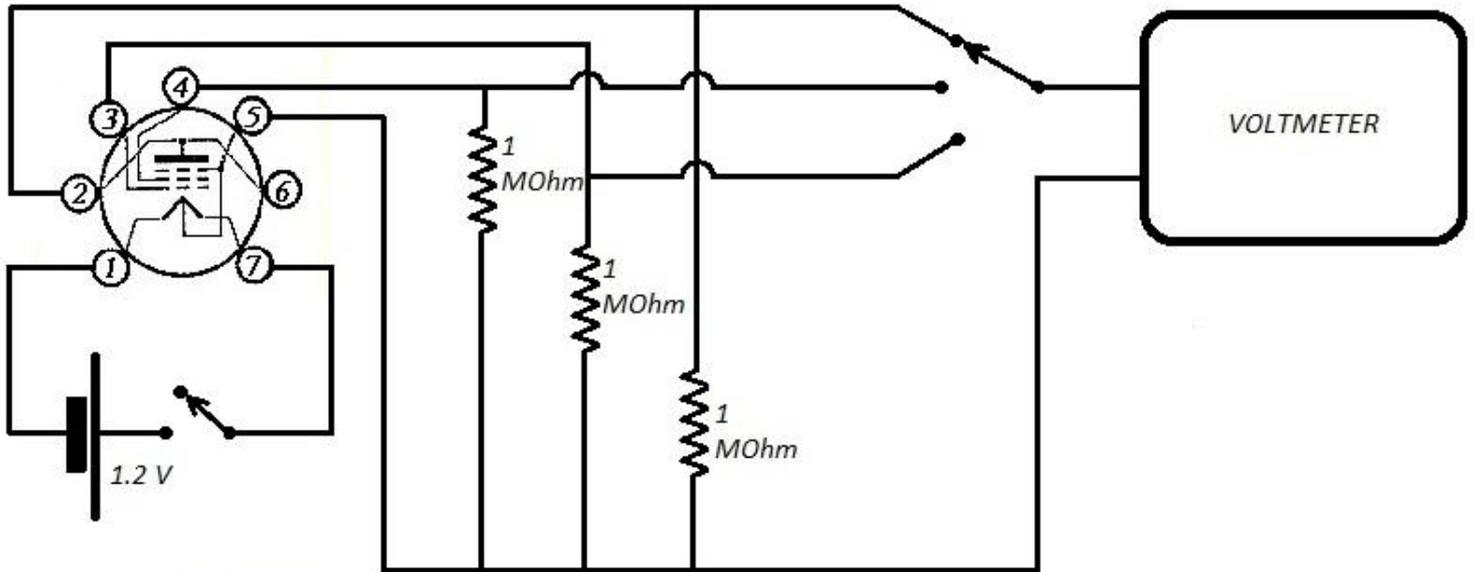


Fig.8.12

Notare nella Figura le tre resistenze di carico da 1 MOhm.

In una prima fase, sono stati misurati i voltaggi tra gli elettrodi con il filamento del tubo 3Q4 spento. In una seconda fase il filamento è stato alimentato con il normale voltaggio di funzionamento. La Tabella seguente mostra i risultati di entrambe le fasi.

	Filamento Spento (μV)	Filamento Acceso (μV)
Anodo	+3700	+300.000
Griglia Schermo	+50 ... +100	-50 ... -100
Griglia di Controllo	+20 ... +50	-42.000

Come si vede dalla Tabella, quando il filamento è spento, il voltaggio che si sviluppa tra filamento (o catodo: elettrodi 1, 5 e 7) e l'anodo (elettrodi 2 e 6) è decisamente positivo, mentre sono

lievemente positivi i voltaggi che si sviluppano tra filamento (5) e griglia di controllo (3) e tra filamento (5) e griglia-schermo (4).

Quando invece il filamento è acceso, il voltaggio sviluppato tra catodo e anodo diventa fortemente positivo, mentre il voltaggio sviluppato sulla griglia di controllo diventa decisamente negativo e di valore molto maggiore di quello, sempre negativo, sviluppato sulla griglia-schermo (4).

Questi risultati mostrano che è la griglia di controllo (3) ad essere maggiormente colpita dagli elettroni emessi dal filamento incandescente rispetto ad anodo e griglia-schermo.

Ma questi risultati suggeriscono anche altro: le tensioni misurate non sono statiche ma sono in grado di generare correnti elettriche misurabili, in quanto sono presenti ai capi di resistori del valore di 1 MOhm.

Questa osservazione pone qualche problema di interpretazione.

Sembra che all'interno di un tubo termoionico vi siano due fenomeni fisici contrapposti. Il primo è quello dell'emissione elettronica da parte del catodo, il quale è certamente responsabile della creazione di tensioni negative su griglia di controllo e griglia-schermo quando il filamento è acceso.

Il secondo fenomeno, ancora da determinare, è quello responsabile della creazione di valori leggermente positivi di tensione su un resistore da 1 MOhm collegato alla griglia di controllo quando il filamento è spento; degli analoghi valori leggermente positivi generati sulla griglia schermo, ed infine dei valori decisamente positivi di voltaggio generati sull'anodo quando il filamento è acceso.

Come si vede nella Tabella precedente, quando il filamento è acceso, il voltaggio sviluppato sulle due griglie diventa decisamente

negativo (come è logico che sia), mentre al contrario il voltaggio sviluppato sull'anodo diventa ancor più positivo di prima.

Questi comportamenti suggeriscono la presenza, all'interno del tubo 3Q4, di gas residui. Al riguardo, dobbiamo tenere presente l'osservazione dovuta agli inventori del convertitore QUENCO, già riportata in precedenza. Essi hanno fatto notare che a temperatura ambiente vi sono elettroni dotati di velocità alquanto elevate, corrispondenti a 600 K (circa 327 °C).

Il fatto è che gli 80 tubi 3Q4 impiegati nell'esperimento, pur essendo nuovi ovvero mai usati, sono stati costruiti molti decenni or sono e sono stati forniti da vari fornitori del mercato mondiale dei materiali di recupero. Non si può escludere, pertanto, in base alle attuali conoscenze sul vuoto pneumatico, che in tutti questi decenni i materiali contenuti all'interno dell'involucro di vetro abbiano rilasciato i gas incorporati (adsorbiti, assorbiti o inglobati) durante la fase di costruzione.

Tali gas, a seconda della loro natura, potrebbero avere lavori di estrazione relativamente bassi, tanto bassi da essere ionizzati da elettroni da 600 K. Se così fosse, nello spazio compreso tra catodo e anodo si formerebbero ioni positivi i quali, a seguito degli urti con gli elettroni, verrebbero proiettati verso l'anodo caricandolo quindi di cariche positive come quelle riscontrate a filamento spento.

Logicamente, nel momento in cui il filamento viene acceso, l'energia degli elettroni emessi aumenta enormemente; di conseguenza può aumentare il numero degli ioni proiettati verso l'anodo e quindi il potenziale positivo sull'anodo stesso.

Al contrario, dato che la griglia di controllo è vicinissima al catodo, essa viene investita dagli elettroni più veloci, i quali, proprio con la loro velocità, contribuiscono a diminuire la concentrazione di gas nello spazio tra griglia di controllo e catodo, per cui questa griglia è

investita prevalentemente da elettroni e diventa decisamente negativa.

Quanto alla griglia-schermo, essa si trova più vicina all'anodo e quindi è investita sia da elettroni che da ioni, per cui è comprensibile che diventi meno negativa della griglia di controllo.

Sulla base delle precedenti considerazioni, e dato che lo scopo dell'esperimento è quello di verificare l'effetto dell'emissione termoionica, la sperimentazione è stata condotta collegando i tubi 3Q4 in serie usando come elettrodi catodo (5) e griglia di controllo (3).

Lo schema elettrico dell'esperimento descritto nel seguito è quello in alto nella figura seguente 8.13, nel quale griglia schermo e anodo sono rimati inutilizzati. In seguito, si è compreso che lasciare volanti questi due elettrodi è controproducente, e quindi i successivi esperimenti sono stati condotti con lo schema elettrico in basso nella figura 8.13.

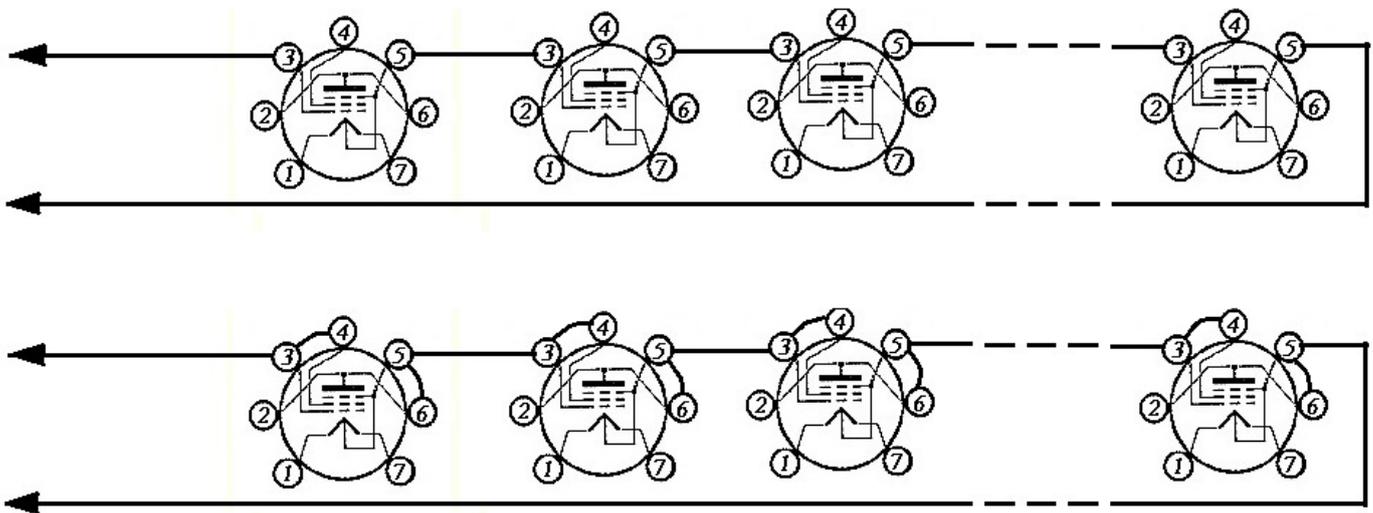


Fig.8.13

8.18.B) DETTAGLI COSTRUTTIVI E DI FUNZIONAMENTO

Il dispositivo sperimentale utilizzato è il tubo termoionico 3Q4. Si tratta di un pentodo a riscaldamento diretto, molto utilizzato in apparecchi portatili radio-riceventi del passato.

Non è detto che tale tubo a vuoto sia il migliore, ma è stato scelto sia per le sue dimensioni molto contenute che per l'assenza di saldature a stagno negli elettrodi. Inoltre, il catodo a riscaldamento diretto a basso amperaggio potrebbe anche consentire (in un futuro esperimento) di far percorrere il filamento dalla corrente di uscita – ciò potrebbe generare un effetto di moltiplicazione a valanga della corrente elettrica di uscita.

Dato che la temperatura di fusione dell'Alluminio è di 660,3 °C, mentre la temperatura di fusione del vetro è di circa 1000 °C, il contenitore di Alluminio può essere riscaldato fino a circa 500 °C restando in sicurezza.

A tale temperatura, alcuni metalli, come ad esempio, l'ottone, tendono a far evaporare i metalli di lega (come ad esempio lo Zinco, che fonde a 419,5 °C). Questo potrebbe determinare la formazione di depositi metallici sulle superfici e quindi alterare il funzionamento del dispositivo.

Per evitare tale rischio, l'ottone è stato eliminato per le parti metalliche interne, realizzando i supporti circolari con lamiera d'Argento puro di spessore 0,8 mm. Anche per i collegamenti interni tra i tubi è stato impiegato un filo del diametro di 0.5 mm fatto di Argento.

Per esperienza si è osservato che i normali connettori per tubi termoionici non sono più idonei a mantenere il contatto elettrico con i piedini dei tubi quando sono riscaldati a 500 °C. Per tale motivo, è stato necessario adottare i seguenti provvedimenti.

- 1) I supporti di Steatite dei connettori sono stati modificati eliminando i contatti elettrici dorati. In questo modo, gli spazi

cilindrici interni al supporto di ceramica, ove prima erano alloggiati i contatti elettrici, sono rimati liberi, così al loro interno si sono potuti alloggiare i piedini dei tubi termoionici.

2) I contatti elettrici tra i piedini dei tubi termoionici ed il resto del circuito sono stati ripristinati saldando un filo metallico (diametro di 0,5 mm) sui piedini dei tubi termoionici, come mostrato nella seguente Figura.



Fig.8.14

I tubi termoionici risultano montati sui supporti di Steatite, così modificati, dal lato opposto rispetto a quello normale.

Per le saldature del filo metallico sui piedini dei tubi termoionici, è stata impiegata una lega all'Argento ad alta temperatura di fusione. Si tratta di un impasto di polvere metallica e disossidante.

Per evitare la frattura del vetro dei tubi termoionici causata dalle alte temperature di saldatura raggiunte dai piedini dei tubi termoionici, sono stati adottati i seguenti provvedimenti:

- 1)Le saldature sono state realizzate con un piccolo cannello ossidrico collegato ad una macchina ad elettrolisi di tipo commerciale, capace di generare una piccolissima fiamma alla temperatura di circa 2800 °C;
- 2)I tubi termoionici sono stati immersi capovolti in acqua, mantenendoli in una precisa posizione mediante un supporto che faceva emergere in aria solo una minima parte dei piedini (circa il 50 %). In questo modo, mentre l'estremità dei piedini poteva raggiungere i 1000 °C, la parte immersa restava abbastanza fredda da evitare la frattura del vetro. Per calibrare esattamente il rapporto tra frazione emersa e frazione immersa dei piedini, è stato necessario colorare di nero o blu l'acqua di raffreddamento. Senza tale accorgimento, era molto difficile stabilire la giusta emersione dei piedini dal livello dell'acqua.

L'esperienza ha mostrato che queste saldature sui piedini 3 e 5 dei tubi termoionici 3Q4 non sono sicure al 100%. Per maggior sicurezza, sarebbe meglio sottoporre i tubi saldati ad uno stress termico, portandola loro temperatura a circa 500 °C e mantenendola per qualche ora.

Successivamente, una volta che la loro temperatura sia ritornata a quella dell'ambiente, le saldature dovrebbero essere sottoposte ad una prova di torsione (la semplice trazione non è sufficiente). Solo i tubi che superino questa prova dovrebbero essere impiegati nell'esperimento.

I fili metallici saldati ai piedini 3 e 5 devono essere saldati a loro volta tra loro, per formare il circuito in serie di cui sopra. Anche queste saldature devono essere fatte con lega all'Argento, evitando che il calore raggiunga la base dei piedini. Questo potrebbe determinare la frattura del vetro dei due tubi termoionici che si stanno collegando tra di loro.

Questo danno si può evitare immergendo parzialmente in acqua le parti, oppure stringendo i due fili da saldare tra loro con pinze metalliche invertite.

Quando tutte le saldature sono state effettuate, esse vanno lavate in acqua molto calda e spazzolate con un pennello per eliminare ogni residuo di pasta saldante, che in seguito potrebbe corrodere i fili metallici di collegamento.

Dato che i potenziali elettrici da misurare assumono valori di alcuni millivolt, è essenziale che nel circuito elettrico composto dai due conduttori di identica composizione chimica non vi sia alcuna giunzione che non sia saldata, al fine di evitare che l'ossidazione dei metalli possa influenzare negativamente l'esperimento.

8.18.C) TRATTAMENTO PREVENTIVO DEI TUBI PRIMA DELL'ESPERIMENTO

I pentodi di tipo 3Q4 utilizzati per l'esperimento erano nuovi e mai utilizzati. Come è noto, i tubi termoionici possono inglobare dei gas all'interno dei vari componenti a causa di imperfezioni costruttive. Durante il riscaldamento che avviene nel normale funzionamento, questi gas possono essere rilasciati all'interno del tubo, compromettendo gravemente il funzionamento del tubo stesso. Questo problema è stato risolto dai costruttori dei tubi termoionici

con l'introduzione di un dispositivo chiamato "getter", consistente in una piccola massa composta da metalli facilmente ossidabili, come Bario e Zirconio.

Effettivamente, durante le varie sperimentazioni del dispositivo qui descritto, si notava che durante il primo riscaldamento il voltaggio che si sviluppava sulla griglia di controllo assumeva inizialmente valori positivi rispetto al catodo. Poi, con il crescere della temperatura, si assisteva ad una inversione della tensione della griglia di controllo, la quale diventava sempre più negativa rispetto al catodo (come è normale che ciò avvenga), in quanto quest'ultimo tende a perdere elettroni in quantità maggiori a causa della sua costituzione.

Aumentando ancora la temperatura, si assisteva ad oscillazioni positive e negative del suddetto voltaggio, fino ad annullarsi del tutto in qualche caso.

Riprendendo l'esperimento nei giorni successivi, e senza nulla modificare nell'apparato, si notava la ricomparsa dei valori negativi di tensione sulla prima griglia e la graduale scomparsa delle sue oscillazioni.

L'interpretazione di tali effetti anomali iniziali può essere data proprio in base alle precedenti considerazioni sul rilascio di gas all'interno del tubo a vuoto durante il funzionamento, tenendo anche presente che le condizioni dell'esperimento sono ben diverse, quanto a temperatura, dal normale funzionamento dei tubi termoionici.

È vero, infatti, che nel funzionamento normale il catodo diventa incandescente, però il resto del tubo a vuoto mantiene temperature relativamente modeste. Questo può determinare un rilascio di gas da parte del catodo, mentre la parte restante del tubo ha una minore probabilità di tale rilascio a causa della relativamente bassa temperatura.

Nell'esperimento in questione, invece, è l'intero tubo a vuoto che viene riscaldato ad elevate temperature, e quindi diventa più probabile che sia la parte restante del tubo, diversa e più massiccia del catodo, ad emettere le maggiori quantità di gas residui.

Poi, con il trascorrere del tempo, il "getter" riassorbe questi gas e il funzionamento può ridiventare quasi normale.

Tenendo conto delle suddette evidenze sperimentali e delle citate considerazioni, prima di iniziare l'esperimento si è proceduto ad effettuare le seguenti operazioni preparatorie.

- 1) Sistemare l'insieme dei tubi elettronici all'interno del cilindro di Alluminio, a sua volta serrato sul forno, portandolo alla massima temperatura prevista e mantenendo questa condizione per qualche ora;
- 2) Lasciare che l'intero sistema si raffreddi spontaneamente;
- 3) Iniziare l'esperimento il giorno successivo, per dare al "getter" il tempo di assorbire i gas espulsi all'interno del tubo a vuoto;
- 4) Ripetere l'esperimento dopo un considerevole numero di giorni, avendo nel frattempo mantenuto i tubi a temperatura ambiente.

Effettivamente, il riscaldamento abnorme subito dai tubi 3Q4, rispetto a quello di normale impegno, causa una profonda alterazione del funzionamento del "getter", come si può notare nella seguente Figura.



Fig.8.15

La Figura mostra 9 tubi 3Q4, di cui gli 8 periferici sono stati sottoposti ad una temperatura vicina a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, mentre quello centrale è nuovo. Come si vede, i tubi che sono stati surriscaldati hanno perduto l'alone metallico determinato dal riscaldamento del “getter” in fase di costruzione. Il “getter” è il parallelepipedo che si intravede all'interno dei tubi surriscaldati.

Ci si deve quindi aspettare che il vuoto pneumatico, inizialmente presente nel tubo, sia alquanto diverso dopo che lo stesso tubo è stato surriscaldato. Ma poiché il “getter” resta al suo posto e può ancora funzionare, ci si deve anche aspettare che una volta che la temperatura sia tornata al valore ambientale, il “getter” ritorni ad assorbire i gas espulsi. Pertanto, con il trascorrere del tempo a temperatura ambiente, il vuoto pneumatico dovrebbe tornare verso la normalità, sebbene non più allo stesso valore precedente.

Infatti, ripetendo più volte l'esperimento con gli stessi tubi, ma ogni volta a diversa distanza di tempo dal precedente tentativo, si è notata una differenza dei dati sperimentali.

8.18.D) RISULTATI DELL'ESPERIMENTO E CONCLUSIONI

Le varie difficoltà (tecniche ed interpretative) incontrate durante le prove, e le conseguenti modifiche apportate all'apparato sperimentale, hanno allungato la durata della sperimentazione, portandola ad oltre tre mesi, durante i quali sono state condotte prove di vario tipo.

Riportare i risultati di tutti gli esperimenti non è possibile, per cui si riportano i dati di due di queste sperimentazioni che possono essere rappresentative di tutte le altre.

I risultati sperimentali riportati nel seguito sono quelli provvisori, relativi alle due sperimentazioni di cui sopra – la prima, condotta con solo otto tubi 3Q4 in serie, e l'altra condotta con 16 tubi 3Q4 in serie.

La sperimentazione con il massimo numero di 48 tubi 3Q4 che possono essere alloggiati nel contenitore è in programmazione a causa di ulteriori difficoltà tecniche.

La Figura seguente mostra lo schema elettrico adottato nel primo esperimento di cui sopra.

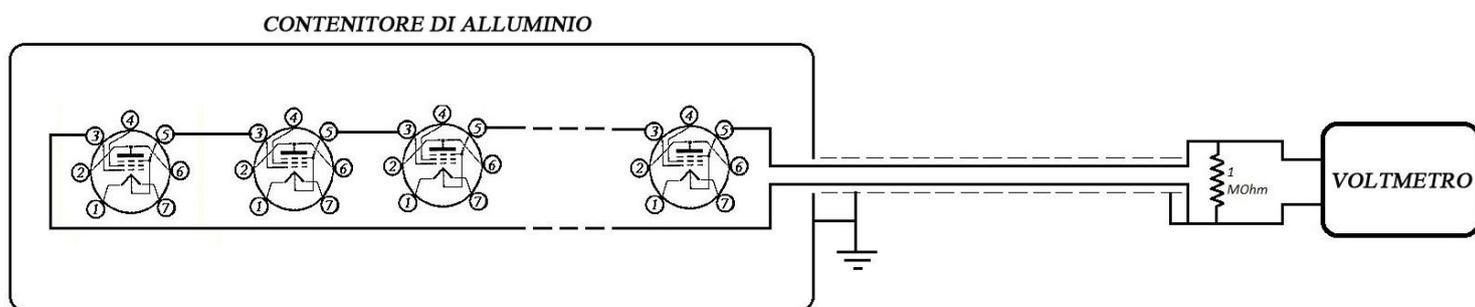


Fig.8.16

I disturbi elettrici che possono alterare le misurazioni delle tensioni presenti ai capi del resistore di carico, sono essenzialmente quelli

dovuti a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo. Questi possono essere praticamente eliminati, aggiungendo, in parallelo al resistore di carico, un condensatore elettrico di opportuna capacità. In successivi esperimenti, è stato usato un condensatore non elettrolitico di 10 Microfarad. Questo ha consentito di fare addirittura a meno del collegamento a terra.

Il valore della resistenza elettrica di carico è stato determinato in 1 MOhm, in quanto si è visto che la resistenza interna di otto tubi 3Q4 posti in serie è di circa 750 kOhm. Questo valore è stato valutato sperimentalmente, misurando le tensioni di uscita quando la resistenza di carico assumeva due diversi valori. Partendo da questi due valori, mediante la legge di Ohm e facili operazioni algebriche, si può calcolare che la resistenza interna del complesso di 8 tubi collegati in serie è di circa 0,750 MOhm.

Pertanto, il valore della resistenza di carico da 1 MOhm è molto vicino a quello della resistenza interna, e si può ritenere che in tali condizioni vi sia un buon grado di adattamento di impedenza elettrica tra generatore (gli 8 tubi 3Q4) e il carico (il resistore da 1 MOhm), e quindi anche un efficiente trasferimento di energia verso il resistore di carico.

La seguente Figura mostra l'andamento del voltaggio di uscita degli otto tubi 3Q4 collegati in serie misurato ai capi del resistore da 1 MOhm, in funzione della temperatura raggiunta all'interno del contenitore di Alluminio.

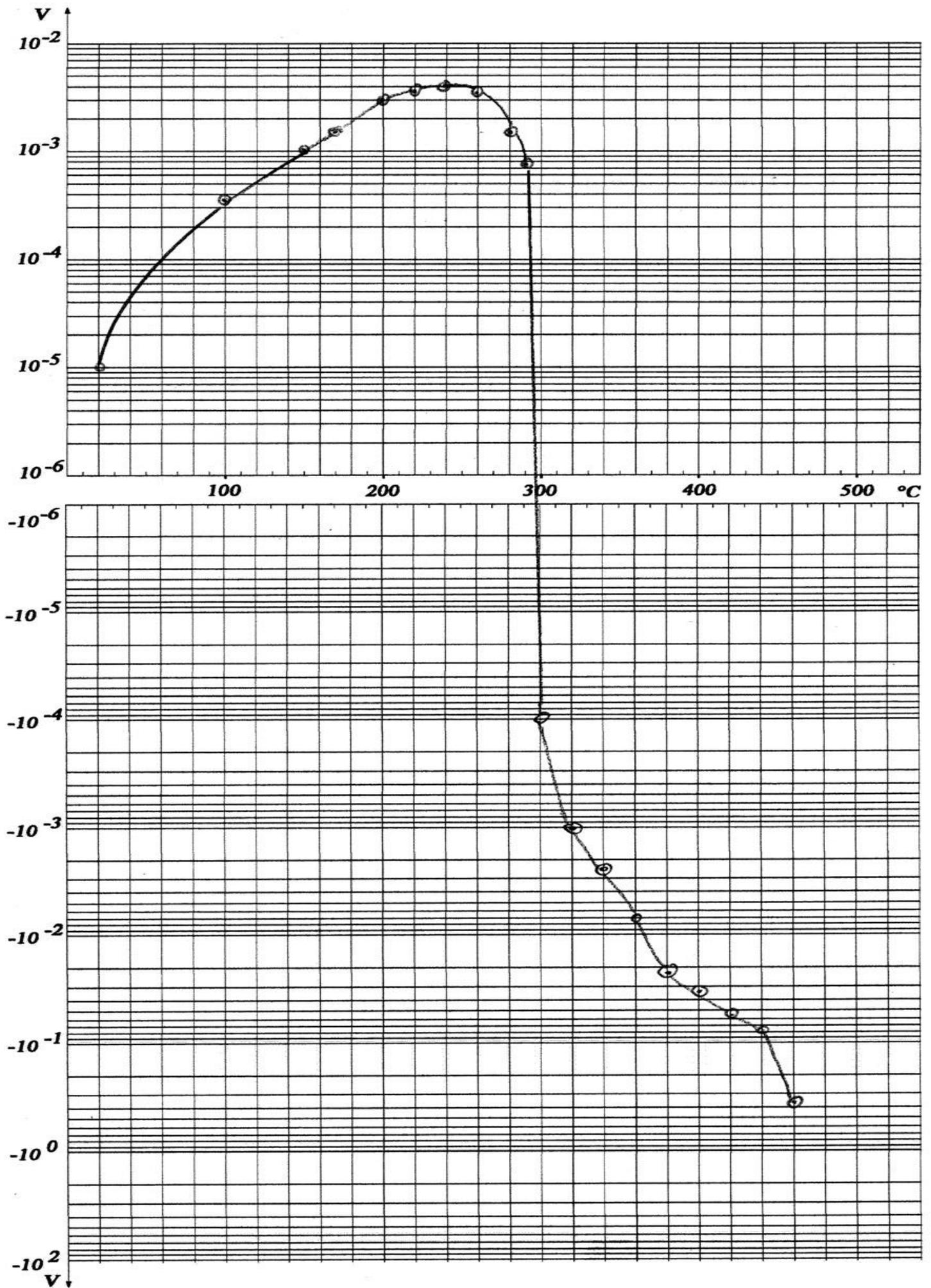


Fig.8.17

Si noti che in questo esperimento sono stati raccolti i dati soltanto nella fase di riscaldamento e non anche in quella di raffreddamento.

Raggiunta la temperatura di equilibrio finale, il valore della tensione di uscita è rimasto circa costante.

La Figura 8.17 mostra che all'inizio del riscaldamento le tensioni sviluppate sulla griglia di controllo sono positive (diagramma in alto), mentre oltre una certa temperatura esse diventano improvvisamente negative (diagramma in basso), attraversando il valore zero con grande velocità.

Nella Figura seguente è riportato lo schema elettrico adottato per l'esperimento con 16 tubi 3Q4 collegati in serie.

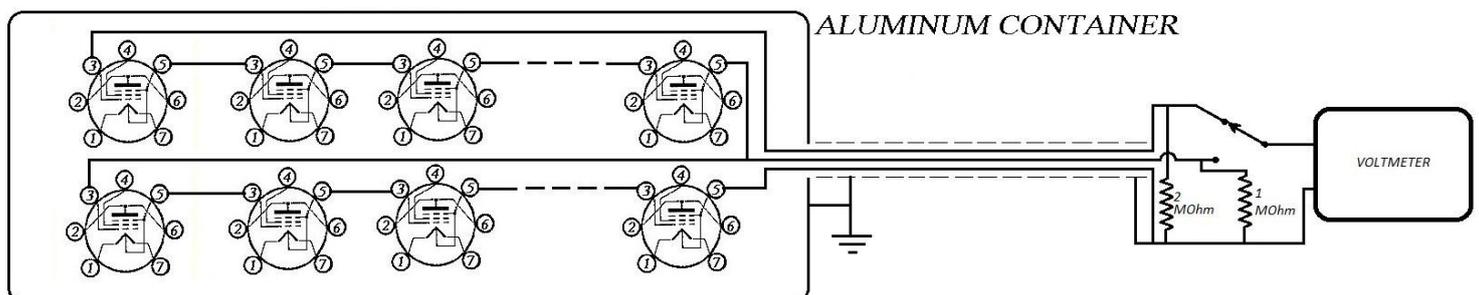


Fig.8.18

La resistenza di carico collegata ai terminali dei primi 8 tubi in serie è stata mantenuta in 1 MOhm, mentre quella relativa ai 16 tubi 3Q4 in serie è stata portata a 2 MOhm per ovvi motivi di adattamento di impedenza.

La Figura seguente mostra l'andamento del voltaggio in funzione della temperatura interna per i 16 tubi. Si noti che in questo esperimento sono stati raccolti sia i dati di riscaldamento (tra A e B) che i dati in fase di raffreddamento (tra B e C) dopo l'interruzione della alimentazione del forno elettrico.

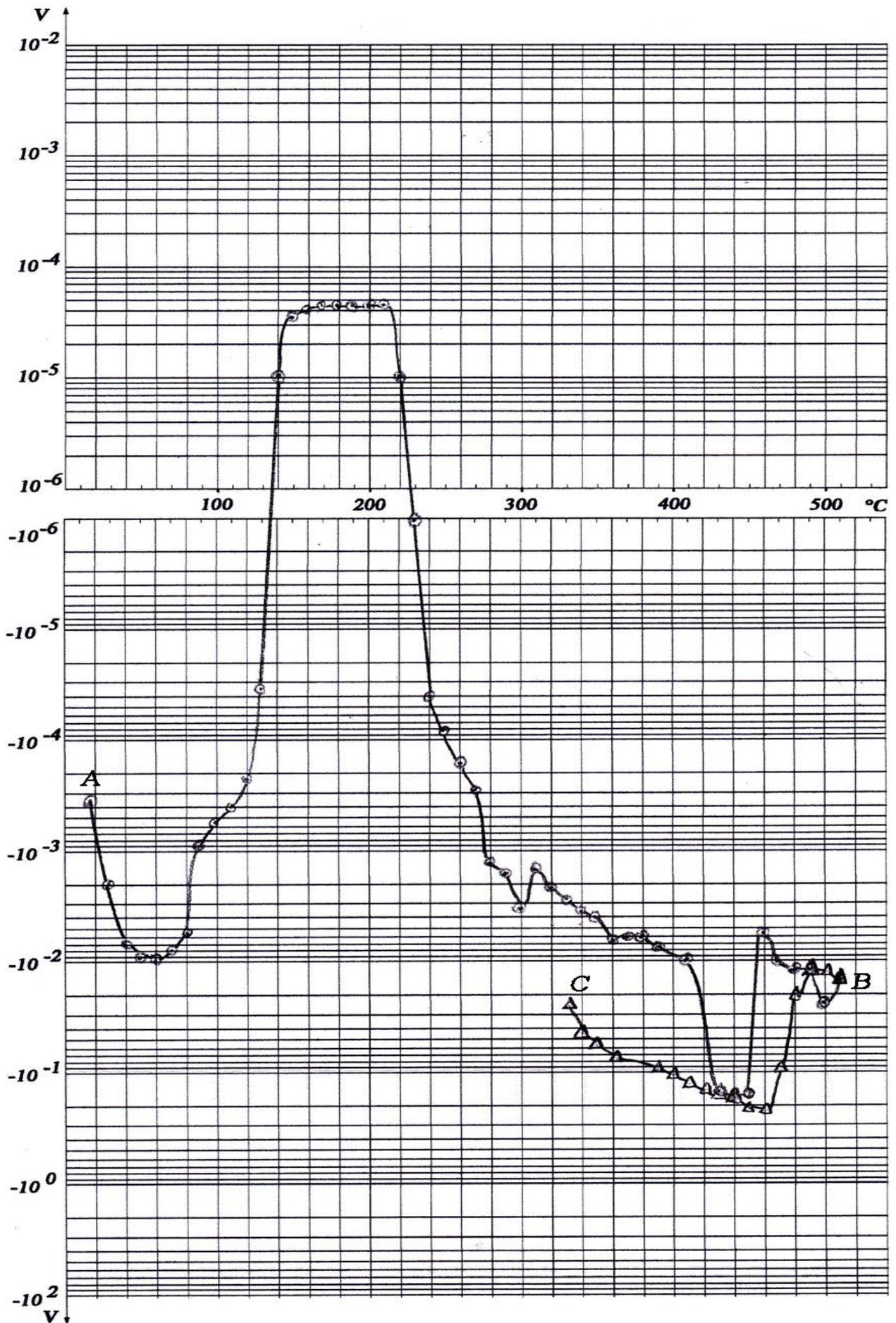


Fig.8.19

L'esistenza di tali valori di tensione (vuoi positivi o negativi) non può essere attribuita all'effetto Seebeck, per le seguenti ragioni di natura fisica:

- 1)I due fili elettricamente conduttori utilizzati per trasferire la tensione da misurare dal contenitore di Alluminio fino al voltmetro erano fatti entrambi dello stesso metallo (Rame, ottone o Argento);
- 2)I due fili elettricamente conduttori di cui sopra non sono in contatto reciproco all'interno del contenitore di Alluminio;
- 3)L'effetto Seebeck non potrebbe generare prima tensioni positive e poi tensioni negative.

La presenza di tensioni positive su un resistore di 1 MOhm collegato all'anodo di un tubo 3Q4 nuovo (ovvero mai surriscaldato) e con filamento alimentato, sembrano confermare quanto detto in precedenza, che tali tensioni siano generate da qualche effetto secondario prodotto dall'emissione di elettroni da parte del catodo – elettroni che eccitano il gas residuo presente all'interno del tubo.

Per concludere, durante tutte le altre prove, oltre quelle sopra documentate, il voltaggio di uscita misurato si è mantenuto quasi sempre diverso da zero: **diverso dal valore zero che ci si dovrebbe aspettare se l'assioma fondamentale della teoria termodinamica di KELVIN e CLAUSIUS fosse valido.**

Questo valore zero, al contrario, si è rivelato altamente aleatorio ed instabile, per cui il sistema sperimentato è raffigurabile, schematicamente, come un meccanismo che assorbe calore da una sola sorgente, lo trasforma in elettricità ed infine ritrasforma questa

corrente elettrica in calore tramite il resistore di carico del valore di 1 MOhm, come è rappresentato nella seguente Figura.

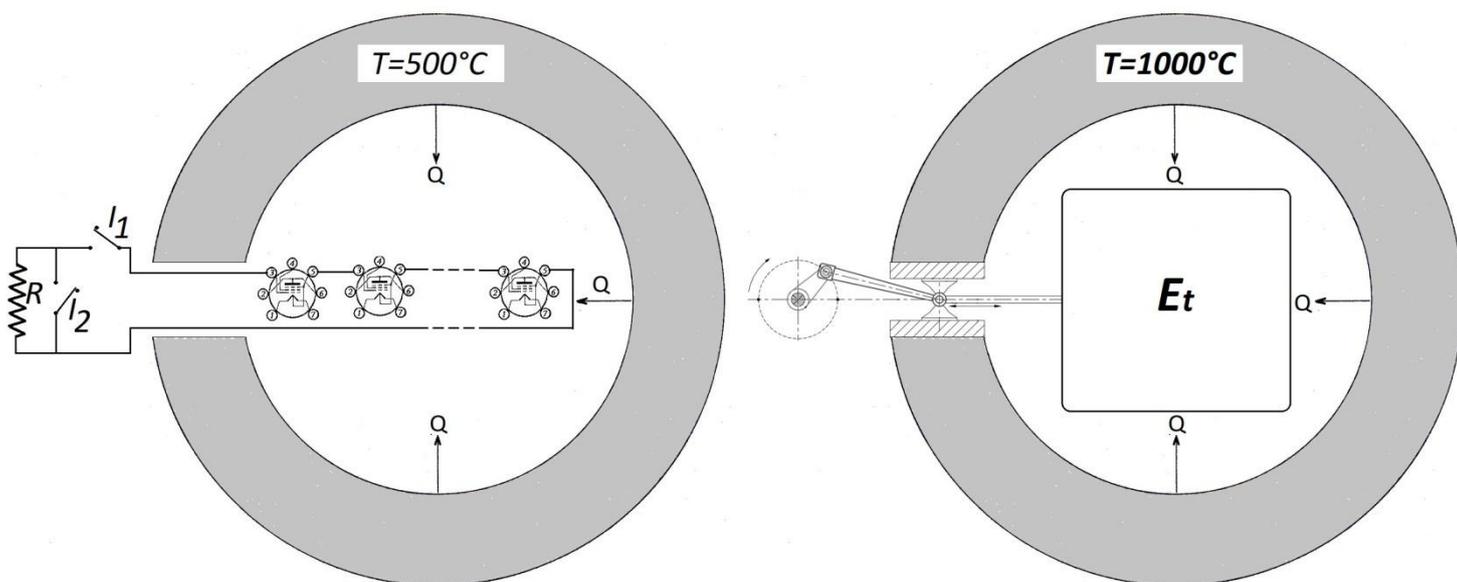


Fig.8.20

Nella Figura sono messi a confronto due schemi: il primo a destra è quello della Figura 1, riportato nella Prefazione del libro, il quale corrisponde alla macchina vietata dall'assioma fondamentale di cui sopra. Il secondo schema a sinistra è quello relativo al nostro esperimento.

La sola differenza tra i due consiste nella diversa forma di energia sviluppata. Mentre nello schema di Figura 1 l'energia in uscita è di natura meccanica, nell'altro schema è di natura elettrica: una differenza inesistente dal punto di vista pratico e teorico.

Come abbiamo visto, la macchina di Figura 1 è stata ritenuta impossibile per assioma, e quindi la teoria conseguente a questo assioma ha reso impossibile concepire l'idea che la macchina E_t potesse assumere da solo una temperatura inferiore rispetto a quella del circostante ambiente, È nato così il concetto di "rendimento insuperabile" tra due temperature di funzionamento, e quindi anche l'idea dell'impossibilità dell'esistenza di due macchine termiche ideali aventi rendimento diverso tra le stesse temperature di funzionamento.

Ma come abbiamo anche visto, tale teoria non è ulteriormente sostenibile a causa delle irrazionalità in essa contenute, e quindi siamo liberi di concepire l'esistenza di due sistemi termodinamici con diversa efficienza tra le stesse temperature. I tubi termoionici possono funzionare proprio in questo modo, ed ora vediamo come, a certe condizioni, il calore Q può fluire dall'ambiente circostante verso la macchina termica.

Ad ogni temperatura, i vari filamenti dei tubi termoionici sono in grado di emettere elettroni con un flusso maggiore rispetto agli altri elettrodi interni. Se gli interruttori di corrente elettrica I_1 e I_2 sono entrambi aperti, gli elettroni emessi dai filamenti impattano le rispettive griglie di controllo, ma non possono ulteriormente fluire e quindi si crea un potenziale elettrico negativo sulla griglia di controllo.

Di conseguenza, i filamenti e le griglie di controllo restano alla stessa temperatura dell'ambiente.

Se gli interruttori I_1 e I_2 sono entrambi chiusi, il resistore R è in corto-circuito e gli elettroni possono circolare, ma la loro energia non viene dispersa o perduta e il sistema da cui provengono non può subire alcuna alterazione.

Quando, invece, l'interruttore I_1 è chiuso ma I_2 è aperto, l'energia degli elettroni viene **dispersa**, tramite il resistore R , al di fuori del sistema da cui provengono gli elettroni, e pertanto in esso devono verificarsi dei "cambiamenti". Il cambiamento che avviene nel sistema consiste nella diminuzione di temperatura dei vari filamenti, in quanto sono essi che emettono elettroni, e questo processo implica una sottrazione di energia **termica**, mentre le griglie di controllo non hanno la stessa proprietà e non possono subire lo stesso "cambiamento".

Deve quindi comparire una differenza di temperatura (anche se nel nostro caso non è misurabile) tra i filamenti e tutto il resto, e ciò rende possibile il fluire del calore Q dall'ambiente verso i filamenti.

Sebbene la quantità di calore sviluppata nel resistore di carico sia minima, essa è pur sempre determinabile tramite la misura della corrente elettrica che fluisce nel resistore R , determinata, a sua volta, tramite la misura della tensione elettrica misurata ai capi di R .

La misura di questa tensione ha dato risultati significativamente quasi sempre diversi (vuoi positivi o negativi) da zero: **il valore che si dovrebbe misurare secondo la teoria termodinamica corrente.**

Il valore massimo di tensione relativo a otto tubi in serie collegati su un resistore di 1 MOhm è stato di -0.42 V a circa 480 °C, inoltre, per tutti gli esperimenti effettuati con diversi esemplari del tubo 3Q4, i risultati ottenuti sono stati concordi, nel senso che i valori iniziali di tensione sono stati generalmente di segno positivo per temperature al di sotto di un certo valore alquanto elevato, mentre al di sopra di tale temperatura sono restati stabilmente di segno negativo;

Quindi, vi sono tutti i presupposti per ritenere che il sistema descritto e sperimentato rappresenti un valido strumento per sottoporre finalmente il Secondo Principio della Termodinamica ad un *experimentum crucis*, in quanto esso contraddice l'assioma fondamentale del Secondo Principio della Termodinamica.

8.19 IL RUOLO FONDAMENTALE DELLA COMUNITA' SCIENTIFICA PER LA PROMOZIONE DI UN EXPERIMENTUM CRUCISSUL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

In teoria, il migliore candidato possibile per proporre e promuovere un "experimentum crucis" sul Secondo Principio della

Termodinamica dovrebbe certamente essere qualche autorevole membro della Comunità Scientifica.

Secondo la Logica, dovrebbero far sentire la loro voce i Matematici, ma soprattutto i Razionalisti, come quelli che, periodicamente, dedicano il loro convegno di Meccanica e Termodinamica razionale alla memoria di TRUESDELL.

Tuttavia non mi risulta (ma attendo di essere smentito se sbaglio) che i Razionalisti stiano compiendo azioni incisive per distruggere la teoria classica del calore, mentre sembra che si stiano prodigando nel costruire una sua nuova versione della teoria del calore, nella speranza, forse, che un giorno essa prenderà spontaneamente il sopravvento sulla prima.

Ma quante probabilità vi sono che qualche esponente della Comunità Scientifica si esponga, invocando la necessità di effettuare un *experimentum crucis* per il Secondo Principio della Termodinamica ?

Un Accademico, con il quale ero entrato in amicizia, mi confidò, più o meno, quanto segue: La Comunità Scientifica, quando infine accetta un certo Principio, lo difende strenuamente.

Ho molto pensato a questa ammissione ed al riguardo ho formulato le seguenti riflessioni.

È vero, la Comunità Scientifica difende strenuamente ciò che genericamente può definirsi “lo status quo ante”, ma come avviene tale difesa?

Sono arrivato alla conclusione, ma attendo di essere smentito se sbaglio, che tale difesa è esercitata individualmente, cioè dai singoli componenti della Comunità Scientifica e che la molla che spinge ognuno di essi a questo comportamento sia la paura.

Ma quelli tra Voi, lettori del futuro, che non fanno parte della Comunità Scientifica, si domanderanno: Paura di cosa ?

Espongo alcuni esempi. Quando penso a quella confessione del mio conoscente Accademico, mi tornano alla mente vari episodi che singolarmente sembrano slegati tra loro, mentre nel loro insieme mostrano chiaramente, a mio giudizio, il filo conduttore che li collega.

Il primo che mi torna in mente, è un passaggio dell'opera di Galileo Galilei “*Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi...*”, laddove egli riporta il seguente episodio che mi piace riportare con le sue esatte e sempre per me commoventi parole:

“Mi trovai un giorno in casa di un medico molto stimato in Venezia, ove alcuni per loro studio, ed altri per curiosità, convenivano tal volta a veder qualche taglio di notomia per mano di uno veramente non men dotto che diligente e pratico notomista (medico necroscopista - ndr). Ed accadde quel giorno che si andava cercando l'origine e nascimento de i nervi, sopra di che è famosa controversia tra medici Galenisti ed i Peripatetici; e mostrando il notomista come, partendo dal cervello e passando per la nuca, il grandissimo ceppo de i nervi si andava poi distendendo per la spinale e diramandosi per tutto il corpo, e che solo un filo sottilissimo come il refe arrivava al cuore, voltosi ad un gentil uomo ch'egli conosceva per filosofo peripatetico, e per la presenza del quale egli aveva con straordinaria diligenza scoperto e mostrato il tutto, gli domandò s'ei restava ben pago e sicuro, l'origine de i nervi venir dal cervello e non dal cuore; al quale il filosofo, dopo esser stato alquanto sopra di sé, rispose: “Voi mi avete fatto veder questa cosa talmente aperta e sensata, che quando il testo d'Aristotile non fosse in contrario, che apertamente dice, i nervi nascer dal cuore, bisognerebbe per forza confessarla per vera.”

Il secondo episodio che mi torna in mente, è un passaggio del libro intitolato “*Un Paradiso Perduto*”, di Marcello Cini (1923–2012),

noto fisico e ambientalista, professore presso l'Università La Sapienza in Roma ove fu Ordinario di Fisica Teorica.

Il passaggio di tale libro che mi torna in mente si trova alla pagina 74.

Nelle pagine che precedono quel capitolo, CINI fa una cronistoria commentata del travaglio che ha scosso la fisica del primo '900, e a pagina 63-64 scrive:

“Solo nel 1925-1926 vengono infatti indipendentemente proposte due strade, apparentemente assai diverse tra loro, per sostituire la meccanica classica nella descrizione e nella spiegazione dei fenomeni “quantici” che compaiono nell'ambito della fisica degli atomi e delle loro radiazioni, con una nuova teoria coerente.”

Nel seguito, CINI ricorda che (p. 71):

“Il conflitto tra i sostenitori di diverse interpretazioni raggiunse il suo apice alla Conferenza Solvay che si tenne a Brussels nel 1927, in cui Born e Heisenberg presentarono la loro teoria come definitiva.”

Negli anni seguenti, la teoria suddetta fu denominata “interpretazione di Göttingen-Copenhagen”.

La specifica parte per me interessante di tale racconto è la seguente (p. 74):

“L'egemonia dell'interpretazione di Göttingen-Copenhagen, formalizzata da Von Neumann negli anni successivi sotto forma di un teorema che pretendeva di dimostrare l'impossibilità di attribuire il carattere probabilistico della meccanica quantistica alla mancata conoscenza di variabili inaccessibili all'osservazione diretta, si tradusse in un vero e proprio decreto di squalifica per qualunque ricerca che si proponesse di rimettere quell'interpretazione in discussione.”

Il terzo episodio che mi torna in mente, è l'Annuncio pubblicato dalla importante Rivista Scientifica “*Sapere*” nel numero di Gennaio 1988

www.edizionidedalo.it/sapere/sapere-1-1988.html

In tale numero, la Rivista pubblica a pagina 4 un Annuncio intitolato “*Moti perpetui e assimilati*”.

Nel preambolo dell'Annuncio, viene data l'informazione che la Rivista riceve **frequentemente** progetti o teorie relative a varie invenzioni, oppure tecniche riguardanti particolarmente (nota bene) **Macchine per il Moto Perpetuo !**

Agli autori di tutte queste richieste di pubblicazione, presenti e futuri, la Rivista risponde pubblicando, e facendola propria (nota bene), la risoluzione adottata nel 1775 (mille-settecento-settantacinque) dall'Accademia Reale delle Scienze di Parigi. Poiché è facile rintracciare questo testo in rete, ne riporto solo la prima proposizione:

“L'Accademia ha approvato quest'anno la risoluzione di non esaminare alcuna soluzione di problemi sui seguenti argomenti: la duplicazione del cubo, la trisezione dell'angolo, la quadratura del cerchio o alcuna macchina per dimostrare il moto perpetuo ...”

In conclusione, il filo conduttore che unisce questi tre episodi mi sembra ovvio: La paura individuale.

Nel primo episodio, la paura del povero filosofo peripatetico che, pur trovandosi di fronte ad una realtà innegabile, non la accetta comunque per paura di screditarsi e si rifugia nell’”Ipse dixit” di Aristotelica memoria.

Nel secondo episodio, la paura dei singoli scienziati contrari all'interpretazione di Göttingen-Copenhagen di screditarsi, nel momento in cui avessero addirittura “pensato” di pubblicare qualche memoria al riguardo.

Nel terzo episodio, probabilmente (ma attendo di essere smentito se sbaglio), la paura della Direzione della Rivista di diminuire la credibilità della Rivista stessa, qualora avesse autorizzato la pubblicazione di qualche articolo sul moto perpetuo.

Miei cari lettori del futuro, ormai è chiaro: I professionisti di materie scientifiche, tanto più sono famosi e ricercati, tanto più hanno paura di perdere credibilità nell'affrontare discussioni che pongono in dubbio le basi del loro successo.

Essi hanno costruito una carriera scientifica sulle basi tradizionali e condivise della scienza in cui eccellono, e si guardano bene dal metterla in pericolo. Parlare, ad esempio, di “moto perpetuo” è pericoloso (tutti sanno che è impossibile): ci si potrebbe rimettere molto: Credibilità, quindi stipendio e infine pensione.

Meglio, dunque, ignorare questo tema e rifiutare senz'altro qualunque ipotesi di discussione onde evitare il rischio di essere definiti eretici.

Un tempo gli eretici venivano dati al rogo: Quello fisico, con il fuoco.

Al giorno d'oggi, tutto questo non si può più fare, però una variante del rogo per tenere a bada autori indisciplinati è stata introdotta - si chiama “Revisione Paritaria” e l'abbiamo già descritta in precedenza.

Con tale sistema, gli autori eretici, invece di sparire fisicamente, rischiano di sparire dal panorama scientifico, cioè di diventare scientificamente inesistenti; le loro opere, anche se fossero pubblicate da qualche baldanzoso e temerario editore, oppure autopubblicate come quella che state appena leggendo, non sarebbero prese in considerazione da nessuno che conta, qualora pure le leggesse - come se non esistessero.

Ma che cosa succede se uno stimato professionista della Scienza, già riconosciuto autore di tante apprezzate pubblicazioni, riesce a pubblicare o divulgare idee eretiche ?

Le possibili reazioni della Comunità Scientifica possono essere, a mio giudizio, essenzialmente di quattro tipologie.

Quando si verifica la prima tipologia di reazione (la peggiore), l'eretico viene spodestato dal suo stato di credibilità e ridotto al rango di un truffatore.

Qualcosa del genere è accaduto all'elettrochimico Martin Fleischmann (1927-2012) ed al chimico Stanley Pons. Nel 1989, questi due Scienziati annunciarono, con una semplice conferenza-stampa, di aver scoperto un nuovo tipo di reazione nucleare denominata “Fusione Fredda”, ora denominata LENR (Low Energy Nuclear Reactions).

Molto stimati prima, i due Scienziati finirono reietti pochissimo tempo dopo il loro clamoroso e non convenzionale annuncio. Uno dei principali punti di accusa che fu loro rivolto fu infatti quello di non aver sottoposto alla Revisione Paritaria il loro lavoro.

E questo accadde nonostante l'esperimento dei due scienziati fosse basato su una memoria pubblicata da una rivista scientifica, addirittura sessanta anni prima, nel 1929.

Questa memoria riportava gli esiti di un esperimento di straordinaria importanza scientifica, in quanto l'autore dimostrava, senza ombra di dubbio, che quando un atomo di idrogeno penetra all'interno del reticolo del Palladio perde l'elettrone e diventa un protone “nudo” (**incredibile !**).

Si veda, al riguardo, l'articolo “*Nachweis von Protonen in Metallen*”, Zeitschrift für Electrochemie, 35, 676 (1929) by Herr Alfred Cohen – Göttingen, anche contenuto (tradotto in lingua Inglese) nella

pubblicazione “*Seminars by Martin Fleischmann on Cold Fusion*” rintracciabile nel web

Con la seconda tipologia di reazione (leggermente migliore della prima), le tesi pubblicate dell'eretico vengono ignorate, come se fossero comparse in una rivista non scientificamente qualificata.

Questo è quello che è successo, ma attendo di essere smentito se sbaglio, a ben due memorie di TRUESDELL, il quale infatti ha pubblicato una prima memoria per dimostrare che il ciclo di CARNOT non è quello che fa ottenere il massimo rendimento tra due temperature.

Questa memoria si trova a pagina 116-118 del volume intitolato “*The Concept and Logic of Classical Thermodynamics as a Theory of Heat Engines ...*”, 1977, Springer-Verlag.

TRUESDELL aveva anticipato questa importantissima “scoperta” in una Nota con il titolo: “*Sul rendimento delle macchine termiche*”, pubblicata dall'Accademia dei Lincei nei “Rendiconti di Scienze fisiche matematiche e naturali”, Vol. LIII, fasc. 6 – dicembre 1972, pp. 549-553.

Sia per l'autorevolezza dell'autore che per la credibilità degli Editori, questi lavori avrebbero dovuto sconvolgere la Comunità Scientifica, ma soprattutto avrebbero dovuto avere una pratica conseguenza sui programmi di insegnamento della materia.

Al contrario, salvo che qualcuno di Voi, lettori del futuro, mi possa smentire, nulla mi risulta sia cambiato al riguardo.

Con la terza tipologia di reazione, l'autore riesce a suscitare interesse, ma solo sotto forma di contestazioni, le quali preludono ad un lungo periodo di tempo di oblio.

Esempi sono la teoria della deriva dei continenti, pubblicata nel 1915 da Alfred Wegener (1880-1930) e più indietro nel tempo, la memoria del 1853 di Ferdinand Reech, rigettata e ritenuta “troppo

generale per meritare studio” dal “Cancelliere della Fisica” HELMHOLTZ, nel 1856 - ripresa solo di recente da TRUESDELL (“*The Tragicomical History of Thermodynamics*”, (1980), e “*Rational Thermodynamics*” – II Ed., Springer-Verlag, 1984, p. 104).

Con la quarta tipologia, la migliore, il fortunato autore riceve ciò che si aspettava: Un onesto e leale confronto di idee.

Ritengo di poter concludere il presente paragrafo con le seguenti considerazioni.

In teoria, nulla impedirebbe a qualche esponente della Comunità Scientifica di intervenire per denunciare le illogicità presenti nella teoria classica del Secondo Principio della Termodinamica.

Tuttavia, questa eventualità è, al momento attuale, quasi inesistente, sia per la paura individuale di esporsi al ridicolo, sia per la condizione autoreferenziale in cui la Comunità Scientifica si è da sola arroccata, adottando il rigido criterio di leggere e soprattutto di prendere in considerazione soltanto i lavori che hanno superato il vaglio della (autoreferenziale, per l'appunto) Revisione Paritaria.

Quindi, mentre mi auguro di essere stato così abile nel mettere in luce gli errori di cui sopra da convincere qualche esponente della Comunità Scientifica a prendere il coraggio di portarli all'attenzione generale, allo stesso tempo ritengo che una spinta in tal senso proveniente dalla Società sia comunque necessaria.

8.20 IL RUOLO ESSENZIALE DELLA SOCIETÀ PER LA RIFONDAZIONE DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Nella misura in cui spero di essere stato sufficientemente chiaro nel mio discorso indirizzato ai membri della Comunità Scientifica sugli errori (non di fisica, ma di pura Logica) contenuti nella teoria

classica del Secondo Principio della Termodinamica, mi auguro di esserlo stato altrettanto nei confronti di Voi, lettori generici del presente libro.

Spero di esservi riuscito in entrambi i casi, e che sia anche riuscito a far comprendere a tutti l'importanza, per il Genere Umano, che la Scienza provveda a correggere adeguatamente la teoria del calore nella parte riguardante il Secondo Principio della Termodinamica.

Perché il punto fondamentale da tenere presente è che non è discussione solo un astratto tema scientifico; qui si tratta, anche e soprattutto, di prendere decisioni politiche su come fornire al genere umano l'energia che le serve ora e nel futuro: dove indirizzare le risorse per minimizzare i relativi costi; come massimizzare i risultati; come evitare il riscaldamento globale, eccetera - tutti argomenti che solo la Politica (con la P maiuscola) può affrontare, sebbene con il supporto della Scienza.

Ma poiché anche la politica è soggetta a condizionamenti, nel mio sogno utopistico mi figuro di essere stato così convincente, da indurre ognuno di Voi, lettori del futuro, a prendere qualche iniziativa finalizzata a vincere la naturale ritrosia dei singoli membri della Comunità Scientifica ad esporsi nell'affrontare un tema così scottante come quello del Secondo Principio della Termodinamica.

Se la Comunità Scientifica condividerà i concetti esposti nel presente libro, allora ricercatori, ingegneri e inventori non rischieranno più di essere presi in giro o ignorati, nel momento in cui riuscissero a trovare il modo di convertire il calore vibrazionale dell'ambiente in lavoro in un modo così efficace da far funzionare le nostre macchine.

Quindi mi auguro che i Politici non si limitino a chiedere anonimi pareri sul presente libro a importanti Scienziati, ma pretendano un parere scritto e firmato, in modo che possa essere reso pubblico.

8.21 SESTO PASSO: INDIVIDUAZIONE DELL'EXPERIMENTUM CRUCIS

Abbiamo visto in precedenza diversi dispositivi che, secondo i rispettivi inventori, violano l'assioma. Ora si tratta di verificare se siano facilmente realizzabili e quanto siano adatti a costituire l'experimentum crucis.

Tutti i predetti dispositivi hanno una caratteristica comune: Sembrano essere costituiti da due sistemi termodinamici contrapposti con differenti caratteristiche o, in termini assai impropri: con diverso “rendimento”.

Il dispositivo non-bias a vuoto pneumatico di YELIN potrebbe essere realizzato da una industria delle valvole termoioniche. Il diodo non-bias a stato solido di YELIN, al pari di QUENCO, il dispositivo a salto quantico, potrebbe essere realizzato da una industria dei semiconduttori.

Il dispositivo al Grafene, sebbene non appaia sufficientemente stabile e quindi ripetibile, potrebbe essere realizzato da un laboratorio che sperimenta su tale materiale.

L'esperimento realizzato da Philip Hardcastle, invece, sembra essere alla portata di chiunque, dal momento che impiega un tubo termoionico reperibile in commercio, sia nuovo che usato.

8.22 LA NECESSITA' DI NUOVI ASSIOMI PER LA RIFONDAZIONE DELLA TEORIA SUL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

La termodinamica razionale sviluppata dai Razionalisti sembra partire (ma attendo di essere smentito se sbaglio) dall'assioma di CARNOT: Il massimo rendimento dipende soltanto dalle temperature di funzionamento e dal calore assorbito.

Se ciò fosse vero, tale impostazione non terrebbe conto del fatto che detto assioma non ha la necessaria base sperimentale di un *experimentum crucis* per essere universalmente condiviso.

Se l'iter relativo all'*experimentum crucis* avesse esito positivo, allora il massimo rendimento termico teoricamente ottenibile sarebbe uguale ad uno (efficienza 100%), indipendentemente dalle temperature di funzionamento e dalla quantità di calore assorbito, mentre potrebbe addirittura diventare privo di significato fare riferimento a un “corpo variabile” se la macchina fosse di tipo statico.

Verrebbero così a diventare inutili tutti i concetti relativi all'assioma di CARNOT e non potrà più essere posto alla base di una nuova teoria razionale di valore generale del Secondo Principio della Termodinamica, ovvero valida per qualunque fenomeno fisico naturale e per qualunque tipologia di macchina termica.

Pertanto, la nuova termodinamica razionale, perlomeno quella relativa al Secondo Principio della Termodinamica, dovrà partire da assiomi che tengano conto che una Macchina termodinamica Perfetta (M.T.P.) è possibile, non che è impossibile.

I nuovi assiomi non dovrebbero lasciare indeterminato alcun concetto a pena di diventare ancora una volta inutili. Per fare un esempio di come non si dovrebbe fare, torniamo a un punto preciso della memoria di CLAUSIUS del 1854 (“*Il Teorema di Equivalenza delle Trasformazioni*”, *Philosophical Mag.* p. 86), in cui egli, per spiegare le ragioni che gli fanno ritenere che il suo assioma debba avere valenza generale, scrive:

“Questo principio, sul quale si fonda tutto lo sviluppo successivo, è il seguente: - [Il calore non può mai passare da un corpo freddo ad uno caldo senza qualche altro cambiamento, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo]. Tutto ciò che conosciamo riguardo lo

scambio di calore tra due corpi a temperature diverse conferma questo, in quanto il calore manifesta sempre la tendenza a equalizzare differenze di temperatura esistenti, a quindi a passare in direzione contraria, cioè da corpi caldi a corpi freddi. Senza altra spiegazione, quindi, sarà garantita la verità del principio”.

L'affermazione che il calore vada sempre da corpi caldi a corpi freddi è condivisibile da tutti, ma CLAUSIUS lascia nel vago l'aggiunta di “qualche altro cambiamento”, nulla aggiungendo al riguardo, neppure circa il luogo in cui questi cambiamenti si dovrebbero verificare.

Al giorno d'oggi, la Comunità Scientifica ritiene che CLAUSIUS intendesse significare cambiamenti che si verificano al di fuori del sistema chiuso nel quale si può idealmente pensare di racchiudere l'insieme degli elementi costitutivi dei cicli.

Ma questa è solo una interpretazione, poiché CLAUSIUS non dichiara ciò esplicitamente e nulla vieta che per il “qualche altro cambiamento” da lui citato si possa intendere quelli che si verificano “dentro” il predetto sistema chiuso. Ricordiamo, infatti, quanto abbiamo detto in precedenza circa il calore locale di compensazione.

D'altra parte, l'affermazione che l'assioma di CLAUSIUS sia troppo vago per poter essere posto alla base di una teoria, è stata messa in evidenza da un autore infinitamente più autorevole del modesto scrivente: TRUESDELL:

“L'espressione verbale di CLAUSIUS della “Seconda Legge” non significa niente, dato che “qualche altro cambiamento, con esso connesso” introduce due nuovi e inspiegati concetti: “altri cambiamenti” e “connessione” di cambiamenti. Nessuno di questi trova alcun posto nella struttura formale di CLAUSIUS. Tutto ciò che rimane è proibizione Mosaica. Un secolo di filosofi e giornalisti hanno acclamato questo comandamento; un secolo di matematici

sono rabbriviti e distolto i loro occhi dall'immondizia.” (“The Tragicomical History” p. 333)

8.23 SUGGERIMENTI PER LA RICERCA DI NUOVI ASSIOMI

È logico chiedersi quale potrebbe essere l'assioma (o gli assiomi) da considerare come base di partenza per rifondare la teoria del Secondo Principio della Termodinamica.

In primo luogo, il nuovo assioma non dovrà avere il principale difetto posseduto da quello adottato dai Padri Fondatori: Essere contrario al Metodo Sperimentale.

Gli assiomi introdotti da Padri Fondatori, e ripresi dai loro successori, esprimono la proibizione di costruire una certa macchina termica.

Questa impostazione è però contraria al Metodo Sperimentale, in quanto esso prevede che ciò che non può essere provato sperimentalmente non può essere preso in considerazione.

Se esiste, infatti, la prova sperimentale che l'assioma di CLAUSIUS è valido per i fenomeni naturali, “non può” esistere alcuna prova sperimentale che garantisca l'applicabilità di questo assioma a generiche macchine termiche.

Il campo di validità del nuovo assioma, pertanto, dovrebbe essere ristretto ai soli eventi naturali, mai a macchine di alcun genere.

Ad esempio, se volessimo applicare questi criteri all'assioma di CLAUSIUS, bisognerebbe modificarlo precisando che esso si riferisce soltanto ai fenomeni naturali, ed anche precisare il tipo e il luogo in cui i “cambiamenti” dovrebbero (o non dovrebbero) verificarsi.

Di conseguenza, l'assioma potrebbe essere modificato come segue:

“Nei fenomeni naturali (i quali non sono coordinati tra loro in modo particolare), il calore non può passare da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che qualche altro cambiamento di natura termica, con esso connesso, si verifichi allo stesso tempo nel resto dell'universo.”

O, in altro modo equivalente:

“È impossibile che un fenomeno naturale possa provocare uno spostamento di calore da un corpo freddo ad uno più caldo, senza che si verifichi qualche altro contemporaneo cambiamento con esso connesso di natura termica, nel resto dell'universo.”

Forse sarà ancora possibile definire la funzione di stato Entropia per ogni corpo materiale.

Il principio di aumento dell'entropia per tutti i fenomeni naturali potrà forse restare come uno degli assiomi necessari, dove però l'entropia non potrà più essere quella funzione di stato generalizzata ideata da CLAUSIUS.

Se, infatti, indipendentemente dai classici ragionamenti teorici (ormai diventati inutili), si verificasse sperimentalmente che in qualunque fenomeno reale la somma algebrica di tutte le variazioni di Q/T è sempre positiva, allora potremmo assumere questo dato come assioma, liberandoci dalla (errata) necessità di dimostrarlo matematicamente.

8.24 PROPOSTA PER IL NUOVO PRINCIPIO NATURALE DI ENTROPIA

Il percorso di rifondazione della teoria potrebbe comprendere, ad esempio, la definizione di una nuova funzione termodinamica costituita dall'integrale del rapporto tra le quantità di calore infinitesimali scambiate (reversibilmente o irreversibilmente) lungo

una certa trasformazione, e le corrispondenti temperature alle quali tali trasformazioni infinitesimali avvengono.

Tale funzione avrebbe esattamente le stesse dimensioni fisiche della funzione Entropia definita da CLAUSIUS.

Ma poiché il teorema di CARNOT non è stato compiutamente dimostrato, viene a mancare lo strumento per poter affermare che tale funzione sia una funzione di stato generalizzata.

Sembra pertanto necessario attribuire un nome diverso alla nuova funzione; la si potrebbe chiamare, ad esempio, Entropia locale.

A questo punto, si dovrebbero riprendere in considerazione tutti i fenomeni irreversibili indicati dagli Autori di Testi, per verificare, sperimentalmente (non matematicamente), se questi fenomeni naturali provochino sempre un aumento dell'Entropia locale.

Solo se l'esperienza confermasse tutto ciò, si potrebbe formulare la seguente proposizione:

“Allorché si verifica una qualunque trasformazione naturale, l'entropia locale aumenta con il progredire del tempo.”

Come si è detto, tale proposizione potrebbe essere adottata come uno degli assiomi da porre alla base della nuova formulazione della Seconda Legge della Termodinamica.

In altri termini, per eliminare il ricorso alle dimostrazioni per assurdo prive dei requisiti per essere portate a termine, ma al contempo tenere conto dell'esperienza, si potrebbe ridefinire la parte irreversibile del Secondo Principio, stabilendo per assioma che esiste una funzione tale (Entropia locale), che aumenta di valore ogni volta che si verifica una trasformazione naturale.

Questa nuova versione del principio potrebbe essere chiamata il “Principio Naturale di Entropia”, per rimarcare che essa è limitata esclusivamente alle trasformazioni naturali.

Resterebbero escluse (per il momento) da questa nuova formulazione le macchine termiche, in quanto non è lecito equiparare trasformazioni naturali ai sistemi artificiali creati dall'Uomo, dove vi sono complessi coordinamenti interni.

Questo potrebbe essere un modo per liberarci di quelle ingarbugliate dimostrazioni basate proprio sulle macchine termiche.

Vedremo nel seguito che, a certe condizioni, potremmo estendere la validità di questo assioma anche alle macchine termiche.

8.25 IL CONTRO-ASSIOMA DEL PRINCIPIO NATURALE DI ENTROPIA

Come abbiamo verificato in precedenza, l'assioma posto a fondamento della Seconda Legge della Termodinamica, ossia l'impossibilità di costruire una Macchina Termodinamica Perfetta (M.T.P.), è una petizione di principio che poteva essere ritenuta valida nella seconda metà dell'800.

D'altro canto, abbiamo visto che moderni scienziati e ricercatori sono riusciti a realizzare dispositivi sperimentali che nel loro funzionamento (qualora la Comunità Scientifica ne prendesse atto) dimostrerebbero in modo definitivo l'erroneità dell'assioma.

Tutti i dispositivi in parola sono costituiti, in sostanza, da due sistemi contrapposti con diverse proprietà termodinamiche tra le stesse temperature di funzionamento. Ricordiamo, infatti, che in tali dispositivi esisterebbero almeno due temperature, di cui una che si auto-crea e si auto-mantiene all'interno dei dispositivi, mentre il calore necessario ad azzerare il bilancio di energia verrebbe sottratto all'energia vibrazionale dell'ambiente (la seconda temperatura).

Queste constatazioni fanno ritenere che sia questo l'unico modo possibile per realizzare una MTP: mettere due sistemi termodinamici macroscopici con “diverso rendimento” in reciproca opposizione.

Tale concetto potrebbe essere assunto come un ulteriore assioma, espresso come segue:

L'unico modo possibile per realizzare una Macchina Termodinamica Perfetta è quello di “contrapporre due sistemi termodinamici macroscopici con diverso rapporto tra i valori assoluti di lavoro/calore tra due temperature”.

Tale assioma può godere di una giustificazione in termini fisici perché, a livello microscopico, la Natura non è in grado di “contrapporre due sistemi termodinamici microscopici con diverso rapporto tra i valori assoluti di lavoro-prodotto/calore-consumato tra due temperature”.

La proposizione è riportata tra virgolette per ovvi motivi: In primo luogo, i concetti macroscopici di temperatura, di quantità di calore, lavoro e rendimento perdono significato al livello microscopico, anche se, con notevoli sforzi di fantasia, si potrebbe tentare di adattarli a tale livello.

Ma seppure per i primi tre tentassimo tale ardua impresa, certamente non potremmo mai concepire il mantenimento di un “diverso rendimento” al livello microscopico.

A questo livello, infatti, gli urti tra le molecole sono quasi elastici a temperatura ambiente (“quasi”, per l'inevitabile presenza della radiazione termica di corpo nero – ricordiamo AGENO).

Ma poiché l'energia termica è caotica, ne consegue che il numero dei gradi di libertà per sistemi microscopici in urto reciproco (leggi: In contrapposizione) è inferiore rispetto a quello che è possibile per sistemi macroscopici in contrapposizione.

In altri termini, non esiste alcuna probabilità che, a temperatura ambiente, due sistemi microscopici con “diverso rendimento” possano spontaneamente entrare in reciproca opposizione ed anche

mantenere nel tempo tali condizioni in modo tale da realizzare una microscopica M.T.P..

Se quindi tutto ciò è impossibile che accada spontaneamente ad un livello microscopico, a maggior ragione è impossibile che si verifichi “spontaneamente” ad un livello macroscopico, con la creazione, da parte della Natura, di una M.T.P..

Solo l'Uomo (è questa la nostra Nemesis !) può organizzare il mondo macroscopico in un modo così particolare da creare le esatte condizioni di contrapposizione e di mantenimento nel tempo di due sistemi termodinamici con diverso rendimento come sopra delineate.

Se queste precise condizioni non vengono realizzate, vengono a mancare le necessarie condizioni per sfruttare completamente il calore di una sola di quelle **due** sorgenti di calore (con temperature diverse) che **devono essere entrambe presenti affinché il calore possa fluire.**

È a questo punto del ragionamento che possiamo pensare di introdurre, nel contro-assioma di cui sopra, anche il riferimento alle normali macchine termiche.

Se una macchina termica non è concepita in modo tale da funzionare come una M.T.P., allora anche essa si deve comportare come un fenomeno naturale e può rispettare il proposto assioma di cui sopra, che qui riportiamo per comodità:

“Allorché si verifica una qualunque trasformazione naturale, l'entropia locale aumenta con il progredire del tempo.”

Per formulare un unico assioma, valido sia per i fenomeni naturali che le normali macchine termiche, potremmo modificare l'assioma come segue:

“Ogni volta che una trasformazione termodinamica si verifica senza una concomitante trasformazione antagonista, l'Entropia locale aumenta con il progredire del tempo.”

Ciò che accade quando vi sono trasformazioni contrapposte deve essere oggetto di una analisi particolare. D'altra parte ciò sembra normale e logico, dal momento che il Secondo Principio della Termodinamica non è un principio valido in senso assoluto.

8.26 E NEL FRATTEMPO ?

Se qualcuno assumerà l'onere di rifondare la teoria termodinamica del calore relativa al Secondo Principio della Termodinamica, è molto probabile che molto tempo dovrà trascorre prima che essa sia completata in tutti i suoi aspetti razionali.

Molto più tempo dovrà trascorrere prima che la Comunità Scientifica si decida a condividerla.

E nel frattempo – chiediamoci - possiamo lasciare in sospenso ogni presa di posizione rispetto al Primo e al Secondo Principio della Termodinamica?

Per tentare di dare almeno una soluzione temporanea a questo importante interrogativo, dovremmo considerare che il frutto più importante della teoria dinamica del calore sviluppata da CLAUSIUS non è il secondo teorema, ma il primo, ovvero il principio di equivalenza e anzi di completa convertibilità di lavoro in calore e viceversa.

Il primo teorema ha la preziosa prerogativa di funzionare egregiamente nella teoria e nella pratica: In termodinamica, chimica, elettrochimica, biologia, nella Scienza dei metalli eccetera.

Il Primo Principio della Termodinamica esce integro dalle analisi fin qui condotte, ed è prevedibile che la sua versione razionale definitiva, che auspicabilmente verrà condivisa dalla Comunità Scientifica, non potrà che confermarlo.

Quanto al Secondo Principio della Termodinamica, l'utilità della sua versione attualmente condivisa è assai limitata: Consente di stabilire

se una trasformazione sia irreversibile in un mondo in cui la teoria che sostiene lo stesso Principio afferma che tutte le trasformazioni reali sono irreversibili.

Oltre tutto, la celebre “disuguaglianza di CLAUSIUS” non può neppure fornire una “misura” di quanto una certa trasformazione sia irreversibile.

Come scrive TRUESDELL:

“CLAUSIUS ci dice che egli potrebbe facilmente calcolare il “valore-equivalente” delle trasformazioni non-compensate ma non fornisce nessuna illustrazione e nessuna idea di cosa potremmo fare di questa quantità se la avessimo.” (The Tragicomical History”, p.333).

Infine, l'espulsione posta in essere da CLAUSIUS della variabile “tempo” dalle equazioni attualmente condivise relative al secondo teorema, impedisce di seguire l'evoluzione di qualunque trasformazione reale lungo il suo tragitto da uno stato iniziale a quello finale.

Ritengo, pertanto, che l'Umanità possa tranquillamente attendere che qualche emerito emulo di TRUESDELL riesca ad elaborare una versione razionale e definitiva del Secondo Principio della Termodinamica, valida sia ai fenomeni naturali che alle macchine termiche, se nel frattempo saranno adottati opportuni atteggiamenti attendisti.

Uno di tali atteggiamenti potrebbe essere quello di sostituire, momentaneamente, la Seconda Legge della Termodinamica con un principio più debole come, ad esempio, il cosiddetto “Minus First Law”.

Al riguardo, i più lettori esperti potranno consultare la memoria di Harvey R. Brown e Jos Uffink intitolata *“The Origins of Time-Asymmetry in Thermodynamics: The Minus First Law”*; Stud. Hist.

Phil. Mod. Phys., Vol. 32, No. 4. pp 525-538, 2001, Elsevier Science Ltd., G.B., comunque reperibile in rete.

Un altro atteggiamento (un pò meno) attendista potrebbe essere quello di perfezionare la versione statistico-probabilistica, in modo da limitare l'ambito della seconda legge della termodinamica ai soli eventi naturali.

Ritengo che se la Comunità Scientifica adotterà atteggiamenti del genere, potrà evitare di ostacolare o addirittura impedire, con l'autorevolezza che le è universalmente riconosciuta, la ricerca e la realizzazione di una Macchina Termodinamica Perfetta di pratica utilità per l'Umanità.

Chiudo questa parte del libro con due considerazioni, una per me stesso e l'altra per la Comunità Scientifica.

Per quanto mi riguarda, sono contento di non essere mai salito su una cattedra ed essere stato costretto, a pena di licenziamento, ad insegnare agli studenti tutte le irrazionalità sopra evidenziate.

Per quanto riguarda la Comunità Scientifica, mi auguro che qualcuno spieghi, con motivi diversi da quelli da me individuati, come sia stato possibile che le incredibili illogicità messe insieme da KELVIN e CLAUSIUS siano state condivise fino ad ora.

CAPITOLO 9

APPENDICE A

9.1 IL TEOREMA DI CARNOT PER MACCHINE TERMICHE STATICHE O NON-CICLICHE

Le macchine termiche non-cicliche utilizzano effetti termici non-ciclici, come, ad esempio, l'effetto termoelettrico. Questo effetto fisico era ben noto nel 1854 quando CLAUSIUS scrisse il suo primo lavoro fondamentale.

Tale effetto consiste nella generazione, ad opera del calore, di un potenziale elettrico ai capi di due conduttori metallici di diversa natura. Si ritiene che tale effetto fosse stato notato per la prima volta nel 1794, da Alessandro Volta (1745-1827). La scoperta di tale effetto risale al 1821 ed è attribuita al fisico Seebeck Thomas Johann (1770–1831) da cui prese il nome.

SEEBECK, però, non riuscì a determinare la vera origine di questo effetto. Fu il fisico Ørsted Hans Christian (1777–1851) a confermare che la tensione elettrica era generata dal calore.

Successivamente, nel 1834, il fisico Peltier Jean-Charles-Athanase (1785–1845) scoprì l'effetto inverso: La generazione di calore da un lato della coppia bimetallica e la sottrazione di calore dal lato opposto, quando la coppia bimetallica è attraversata da corrente elettrica.

Come si vede, fin dal 1854 e a maggior ragione dal 1865 e 1879, CLAUSIUS aveva tutti gli elementi scientifici per concepire un meccanismo privo di parti in movimento che poteva generare elettricità (lavoro) assorbendo calore, ed anche un meccanismo privo di parti in movimento che poteva invertire il processo precedente. CLAUSIUS, pertanto, poteva concepire una combinazione tali dispositivi termici completamente privi di movimento meccanico, senza alcun fluido e senza alcun “ciclo”, per sviluppare i suoi teoremi.

Perché CLAUSIUS non lo fece ?

Si potrebbe anche ipotizzare l'uso di un altro effetto termico non-ciclico per sviluppare il secondo teorema della termodinamica. Questo è l'effetto termoionico, che però CLAUSIUS non poteva conoscere perché fu scoperto ben oltre il 24 agosto 1888 (data della sua scomparsa). L'elettrone fu identificato, infatti, nel 1897 dal fisico e ingegnere Joseph John Thomson (1856–1940).

L'effetto termoionico consiste nell'emissione di elettroni dalla superficie di metalli. Il flusso di elettroni aumenta con l'aumentare della temperatura secondo la formula del fisico Owen Willians Richardson (1879-1959). Questo effetto si può evidenziare molto facilmente se la superficie metallica si trova nel vuoto atmosferico. Il flusso di elettroni dipende anche dalla natura della superficie metallica emittente.

Il calore agita gli elettroni liberi che si trovano sulla superficie metallica. Siccome l'agitazione è caotica, in ogni istante vi sono elettroni che hanno assorbito più energia dal calore rispetto alla media, per cui avranno maggior velocità e probabilità di fuoriuscire dal campo elettrico attrattivo della superficie metallica. Associato a tale fuoriuscita, vi è una sottrazione di calore dal metallo.

Gli elettroni espulsi nel vuoto possono essere catturati dalla superficie di un altro conduttore posto nelle vicinanze.

Quando gli elettroni vengono riassorbiti dall'altro conduttore, la cessione della loro energia meccanica si trasforma di nuovo in calore, non necessariamente nella stessa quantità di prima.

Se il circuito elettrico tra questi due conduttori è chiuso su una resistenza elettrica, allora essa è percorsa da una corrente elettrica formata da elettroni in movimento e la resistenza si riscalda.

È dunque possibile sfruttare gli effetti sopra descritti per concepire macchine termiche del tutto prive di “cicli”.

Ciò premesso, se ci si ponesse il problema di dimostrare il teorema di CARNOT, e tutti gli altri teoremi sviluppati da KELVIN e CLAUSIUS, partendo da tali macchine aperiodiche, si dovrebbero superare difficoltà di non poco conto; in “primis”, quella che è stata risolta da KELVIN e da CLAUSIUS con la considerazione delle macchine cicliche: Razionalizzare il comportamento dell'energia interna della macchina.

Mentre con le macchine cicliche si ha a che fare con due sole forme di energia, cioè lavoro e calore, con le macchine aperiodiche si dovrebbe considerare anche la variazione dell'energia interna a partire dall'istante della partenza fino a quello del raggiungimento dell'equilibrio termico.

Per superare tale difficoltà, si potrebbe considerare soltanto la condizione a regime della macchina. In tal caso, l'energia interna non cambierebbe nel tempo e le forme di energia si ridurrebbero alle due di prima.

Tuttavia, se tentassimo di dimostrare il teorema di CARNOT anche per tali macchine statiche, utilizzando le stesse tecniche impiegate da KELVIN e CLAUSIUS, ovvero impostando una dimostrazione matematica per assurdo basata sui loro assiomi, andremmo incontro agli stessi fallimenti descritti in precedenza.

Nulla cambierebbe circa l'impossibilità di invocare il principio del terzo escluso, e nulla cambierebbe circa la questione del calore locale di compensazione.

Ricordiamo che KELVIN considerò tali macchine statiche, ma fu CLAUSIUS a spingere la teoria fino al punto di “scoprire” l'Entropia come una funzione di stato. Quest'ultima considerazione può forse fornire la chiave per capire perché CLAUSIUS si concentrò sulle macchine cicliche e ignorò quelle statiche.

Se CLAUSIUS avesse impostato il teorema di CARNOT partendo da macchine statiche, avrebbe dovuto, in primo luogo, supporre la loro “perfezione”, ovvero assenza di resistenza elettrica al loro interno.

Anche per il lavoro meccanico sviluppato o assorbita dalle macchine, egli si sarebbe trovato in difficoltà, dato che in tali macchine il lavoro si manifesta come energia elettrica.

Per la macchina invertita, CLAUSIUS avrebbe potuto usare l'effetto PELTIER, ma avrebbe dovuto supporre l'inesistenza di resistenza elettrica nel circuito, perché altrimenti avrebbe introdotto un fenomeno da lui ritenuto irreversibile.

In alternativa, avrebbe dovuto immaginare l'impiego di motori elettrici perfetti.

Nel 1854, però, questa idea era quasi inconcepibile, dal momento che non era stato ancora inventato nessun motore elettrico. Nel 1821, Michael Faraday aveva dimostrato che un disco metallico percorso radialmente da corrente elettrica ruotava se immerso in un campo magnetico.

Anche JOULE nel 1838-39 stava studiando e facendo esperimenti su motori elettrici (*The Scientific Papers of James Prescott Joule - Dawson of Pall Mall*, 1963, p. 2-6).

Ma fu solo verso il 1860-64, che Antonio Pacinotti (1841–1912) riuscì a costruire una macchina elettrica che poteva funzionare sia come motore che come generatore di energia elettrica.

Infine, le macchine termiche non-cicliche sviluppano lavoro “senza” variazioni di volume, e ciò è in antitesi con l'intuizione di CARNOT - condivisa da KELVIN e CLAUSIUS, che “ogni cambiamento di temperatura che non è dovuto ad un cambiamento di volume ... può essere niente altro che un improduttivo ristabilimento del calorico”.

Per le suddette ragioni, un lato debole del sistema adottato da CLAUSIUS per dimostrare il teorema di CARNOT e i suoi corollari è proprio quello di considerare soltanto macchine cicliche.

È solo tramite la considerazione di un corpo fluido variabile, sottoposto a trasformazioni cicliche, che si può concepire il concetto di Entropia come funzione di stato di quel corpo, mentre se si utilizzano le macchine statiche (differenza che non dovrebbe incidere in alcun modo sulla teoria) ciò non è possibile, dato che

viene a mancare un ben definito “corpo” al quale si potrebbe attribuire tale funzione.

D'altronde, come si è visto, CLAUSIUS ha ricavato la funzione di stato generalizzata Entropia in modo alquanto discutibile, dato che ha equiparato la temperatura delle varie sorgenti a quella momentaneamente assunta dal “corpo” variabile, in quanto esse sono uguali, “salvo differenze infinitesimali”, e anche questo non gli sarebbe stato possibile qualora avesse considerato macchine statiche o non cicliche.

9.2 ESERCIZIO PER I LETTORI

Con una dimostrazione per assurdo e l'assioma di CLAUSIUS, dimostrare la validità dell'integrale di CLAUSIUS e della sua “disuguaglianza” per macchine termiche statiche e, conseguentemente, “scoprire” che esiste la funzione di stato generalizzata denominata Entropia.

9.3 LA DEFINIZIONE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

È opportuno ricordare brevemente come viene definita la scala termodinamica di temperatura. Si parte dalla definizione generale di rendimento di una qualsiasi macchina termica, cioè dall'equazione che esprime il rendimento di una qualunque macchina termica:

$$N = 1 - Q_l/Q_h$$

Dove N è il rendimento (numero generalmente minore di uno), Q_l è la quantità di calore ceduta al corpo freddo (**l**ow) e Q_h quella sottratta al corpo caldo (**h**igh).

Secondo il teorema di CARNOT (ritenuto dimostrato), il rendimento dipenderebbe solo dalle due temperature di funzionamento, quindi, per derivare la scala assoluta di temperatura, ci si ritiene autorizzati

a modificare l'equazione di cui sopra eliminando il numero 1 dal secondo membro dell'equazione.

La logica di tale eliminazione è la seguente: ciò che conta, ai fini della nuova scala di temperatura, non è il numero fisso 1, posto al secondo membro dell'equazione, ma solo la frazione Q_l/Q_h , essendo la sola parte che dipende dalle temperature di funzionamento grazie al teorema di CARNOT.

Questo tipo di elaborazione consente agli Autori di Testi di inferire che il rapporto Q_l/Q_h deve essere una certa funzione f , ancora da determinare, delle due temperature di funzionamento della macchina di CARNOT, ciò che si esprime con l'equazione seguente:

$$Q_l/Q_h = f(T_h, T_l)$$

Successivamente, tramite altri passaggi algebrici, gli autori dimostrano che funzione $f(T_h, T_l)$ può essere espressa come rapporto tra i valori che una certa funzione (ancora da determinare) assume a due diverse temperature.

Con ulteriori ragionamenti, gli Autori riescono ad affermare che in una macchina di CARNOT il rapporto tra i valori assoluti delle due quantità di calore scambiate con sorgente e refrigeratore deve stare come il rapporto tra T_1 e T_2 :

$$Q_l/Q_2 = T_1/T_2$$

dove Q_2 è la quantità di calore che una macchina di CARNOT assorbe dalla sorgente calda a temperatura T_2 , e Q_l è il calore ceduto dalla stessa macchina verso il refrigeratore a temperatura T_1 .

Ricordiamo che fu KELVIN a concepire una scala di temperatura di questo tipo nel 1848, e che egli decise di adottare una funzione lineare della temperatura per mantenere l'accordo con la temperatura misurata con il termometro a mercurio, essenzialmente lineare nel suo campo utile.

Di conseguenza, notò KELVIN, i valori terminali della scala assoluta sono asimmetrici, in quanto essa può variare da 0 a $+\infty$ (infinito).

Al giorno d'oggi, la scala termodinamica di temperatura è chiamata scala di KELVIN e la sua unità di misura K (in gradi Kelvin) è in onore di William Thomson – Lord Kelvin, che la ripropose nella memoria del 1868.

Il valore di una certa temperatura espresso con tale unità di misura si rappresenta con un numero seguito dalla lettera K (non preceduta dalla parola “grado”) non seguita dal punto e senza il simbolo °.

Tuttavia, data l'impostazione che ho voluto dare al presente libro e quindi per maggior chiarezza di eventuali lettori generici, continuerò ad anteporre la parola “grado/i” al simbolo K, oppure a specificare “gradi Kelvin”.

Quindi, l'equazione

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2$$

consente di determinare il rapporto tra due temperature come rapporto tra due quantità di calore isoterme scambiate da una macchina di CARNOT.

Poiché la macchina di CARNOT non è realizzabile, la determinazione delle due quantità di calore isoterme, Q_1 e Q_2 , viene fatta tramite la preventiva individuazione sperimentale delle due trasformazioni adiabatiche del ciclo di CARNOT.

Si effettua quindi la misura delle due quantità di calore scambiate in maniera quasi-reversibile tra i punti individuati.

Risulta che questo sia il metodo per “misurare” temperature molto basse, tipicamente, minori di 1 K (un grado Kelvin).

La scala termodinamica di temperatura è stata resa operativa assegnando alla temperatura del punto triplo dell'acqua il valore convenzionale di 273,16 K.

Se si conviene che nell'equazione

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2$$

T_2 sia il valore della temperatura del punto triplo dell'acqua, che vale 273,16 K, allora Q_2 rappresenta la quantità di calore scambiata dalla trasformazione isoterma che si svolge alla temperatura del punto triplo dell'acqua. Poiché questa quantità di calore può essere misurata, allora la possiamo denominare con Q_0 .

Q_1 può essere fatto corrispondere alla quantità di calore relativo alla trasformazione isoterma che si svolge alla temperatura da misurare T_1 .

Poiché Q_1 può essere misurato, allora lo possiamo denominare con un generico Q , in modo che corrisponda alla temperatura incognita da misurare, che possiamo denominare con un generico T .

Con tali convenzioni, l'equazione precedente può essere rielaborata algebricamente in modo da consentire la determinazione della temperatura incognita T espressa in Kelvin:

$$T = 273,16 K (Q/Q_0)$$

In questo modo, come si è detto, la macchina di CARNOT diventa uno strumento per “misurare” temperature secondo una scala arbitraria (universalmente nota come Scala Termodinamica di Temperatura) tramite l'equazione di cui sopra.

9.4 L'EQUAZIONE ATTUALMENTE CONDIVISA PER LA DETERMINAZIONE DEL MASSIMO RENDIMENTO TEORICO

Le precedenti considerazioni consentono agli Autori di Testi di ricavare una equazione che fornisce il massimo rendimento teorico ottenibile tra due temperature di funzionamento.

Questo risultato viene ottenuto considerando l'equazione generica del rendimento

$$N = 1 - Q_l/Q_h$$

la quale viene combinata insieme con l'equazione che definisce la scala termometrica di temperatura

$$Q_l/Q_h = T_l/T_h$$

Da tale combinazione gli Autori ricavano l'equazione seguente

$$\eta = 1 - T_l/T_h$$

la quale esprime, secondo gli Autori, il massimo rendimento η teoricamente ottenibile da un ciclo di CARNOT funzionante tra due temperature T_l e T_h .

Dato che questa equazione è ritenuta valida dagli Autori, essi si ritengono autorizzati ad affermare che una macchina di CARNOT potrebbe raggiungere una efficienza del 100 per cento solo se la temperatura T_l potesse diventare uguale a zero Kelvin, cosa che è in effetti impossibile dato che in Natura una temperatura del genere non esiste.

Ma poiché gli Autori sono convinti che il teorema di CARNOT sia stato dimostrato, essi possono trarre l'ulteriore conclusione che la massima efficienza raggiungibile con qualsiasi mezzo, sarà sempre inferiore a quella della macchina di CARNOT e quindi sempre inferiore al 100%.

Ricordiamo, però, che questa conclusione è stata ottenuta dalla manipolazione algebrica di una equazione frutto del (non dimostrato) teorema di CARNOT.

Per questo motivo, anche la formula del massimo rendimento teorico possibile resta priva di una dimostrazione condivisibile.

9.5 IL TERZO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

In vista dell'imminente approfondimento critico relativo alla definizione della scala termodinamica di temperatura, è necessario introdurre alcuni concetti relativamente ad un altro principio fisico: il III Principio della termodinamica, che si può esprimere con la seguente proposizione:

“Non è possibile raggiungere il valore di temperatura di zero gradi Kelvin tramite un numero finito di trasformazioni termodinamiche.”

Tuttavia, la Comunità Scientifica ritiene che definire tale enunciato come un Principio non sia corretto, poiché, a differenza dei veri Principi, si ritiene che esso possa essere “dimostrato” matematicamente.

Sarebbe più corretto, pertanto, definire tale enunciato come un teorema, noto, infatti, come Teorema di Nernst.

La dimostrazione del teorema di Nernst viene presentata ricorrendo, in vari modi, al Secondo Principio della Termodinamica. Un primo modo per dimostrare il teorema di Nernst è quello di ricorrere direttamente alla definizione di temperatura assoluta di KELVIN; in pratica, ciò equivale a dire che l'irraggiungibilità dello zero assoluto è una conseguenza del modo con il quale è stata definita la temperatura assoluta di KELVIN.

Un altro modo più indiretto è quello di usare il principio del terzo escluso: la dimostrazione per assurdo, ricorrendo direttamente all'assioma del Secondo Principio della Termodinamica e ricorrendo direttamente all'assioma del principio di reciprocità. Tuttavia, anche tale modalità richiede di invocare la definizione di temperatura assoluta.

È stata anche sviluppata la versione in termini di Entropia di tale Principio. Anche questa versione può essere espressa in vari modi, come ad esempio i due seguenti:

1) “L'Entropia, nello stato a minima energia, ha un ben definito valore dipendente soltanto dalla degenerazione dello stato fondamentale.”;

2) “La variazione di entropia connessa ad una trasformazione isoterma reversibile tende a zero, quando la temperatura di tale isoterma si avvicina allo zero assoluto.”.

Si tratta, come si vede, di proposizioni alquanto cervelotiche. Ma sia questi enunciati entropici che quelli tradizionali di cui sopra devono “fare i conti” con quanto è stato messo in evidenza in precedenza, circa l'erroneità delle dimostrazioni di CLAUSIUS - dimostrazioni che vorrebbero attribuire alla funzione termodinamica Entropia la proprietà di essere una funzione di stato generalizzata.

Un fatto è comunque certo: tutti gli esperimenti ideati per raggiungere la temperatura dello zero assoluto di KELVIN sono falliti, riuscendo soltanto ad avvicinarsi al tale valore senza mai effettivamente raggiungerlo.

Ad esempio, risulta che nel 2005, nel corso di un esperimento, sia stata raggiunta la temperatura di 450 pK (pico Kelvin), ovvero: 0,000.000.000.450 K (gradi Kelvin).

È naturale chiedersi su tutto ciò abbia senso, oppure se ci si stia attorcigliando attorno ad un problema male impostato. Ma questo lo vedremo in seguito.

9.6 CRITICA: L'INTINSECA AMBIGUITA' DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA E LA SUA SOSTANZIALE IRRAZIONALITA'

Come conseguenza del fallimento della dimostrazione del teorema di CARNOT, è diventato impossibile dimostrare la validità della seguente espressione matematica

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2$$

che è stata posta a fondamento della scala termodinamica di temperatura.

Ma prima di approfondire le conseguenze di tale tragica constatazione, mi preme esporre quanto segue. Mi sembra importante evidenziare che la Scala Assoluta contiene una ambiguità, o forse una irrazionalità oppure un contro-senso che ora vado a spiegare.

Come si è visto, si ritiene che il rendimento η della macchina di CARNOT sia espresso dall'espressione seguente

$$\eta = 1 - T_l/T_h$$

Abbiamo osservato, tuttavia, che l'equazione che esprime il generico rendimento,

$$N = 1 - |Q_l| / |Q_h|$$

è stata manipolata privandola del numero 1 presente al secondo membro al fine di definire la scala termodinamica di temperatura..

Questa manipolazione matematica, ha fatto sì che la scala assoluta di temperatura di KELVIN mostri un netto contrasto con un concetto universalmente accettato: Il rendimento di qualsiasi macchina termica cresce con l'aumentare della “differenza” di temperatura tra le due sorgenti di calore.

Se infatti Voi, lettori del futuro, prendete la formula che qui è riportata per comodità:

$$\eta = 1 - T_l/T_h$$

e vi inserite le seguenti coppie di valori di temperatura espressi in gradi Kelvin, per i quali il rapporto tra T_h e T_l è costante, vi accorgete che il rendimento massimo teorico η avrà sempre lo stesso valore, pari a 0.9, e potrete compilare la seguente tabella:

T_h (K)	10000	1000	100	10	1	0,1	0,010
T_l (K)	1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001
$\eta(T_h,$ $T_l)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Pertanto, secondo l'impostazione comunemente condivisa, anche alle bassissime temperature, “vicine” (in apparenza) a zero gradi Kelvin (zero assoluto), sarebbe possibile ottenere lo stesso rendimento teorico conseguibile tra 10000 K e 1000 K.

Risulta evidente, pertanto, che nella scala di KELVIN il massimo rendimento teorico **non** dipende dalla differenza di temperatura tra le due sorgenti. Apparentemente, 0.001 K e 0.0001 K sembrano temperature molto vicine allo zero assoluto, ed anche vicine tra loro poiché la loro differenza vale 0.0009 K, ma per quanto riguarda il rendimento, la loro distanza reciproca è tanto grande quanto quella che intercorre tra 10000 K e 1000 K, tra le quali, però, esiste una differenza di 9000 K.

Dopo tale premessa, possiamo passare a discutere, nel prossimo paragrafo, della interconnessione tra teorema di CARNOT e scala termodinamica, nel momento in cui si voglia determinare una temperatura incognita, esprimendola in gradi KELVIN.

9.7 CRITICA: IL TEOREMA DI CARNOT, LA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA E IL TERZO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

È giunto il momento di trarre alcune prime conclusioni circa i rapporti, interconnessi tra loro, tra la dimostrazione del teorema di CARNOT, la scala termodinamica di temperatura e il Secondo Principio della Termodinamica.

La nostra aspettativa che gli errori introdotti da KELVIN e CLAUSIUS nelle loro dimostrazioni del teorema di CARNOT siano stati eliminati e che al giorno d'oggi la termodinamica possa beneficiare di una corretta dimostrazione di questo teorema, si è rivelata illusoria.

La dimostrazione attualmente condivisa del teorema di CARNOT non è idonea, in realtà, a dimostrare che il rendimento di una macchina di CARNOT sia indipendente dalla sostanza utilizzata e che esso dipenda soltanto dalle temperature.

Questo fallimento rimette in discussione tutti gli aspetti essenziali del Secondo Principio della Termodinamica: I corollari del teorema stesso, tra cui proprio la scala termodinamica di temperatura, ma anche il Terzo Principio della Termodinamica.

Uno degli aspetti più tragici della questione, a mio avviso, è connesso al corollario posto a fondamento della Scala Termodinamica di Temperatura.

Come si visto in precedenza, nell'equazione generica di rendimento è stato introdotto il risultato del teorema di CARNOT, ritenuto attendibile e giusto, ottenendo, come corollario, l'equazione che è qui riportata per comodità

$$Q_1/Q_2 = T_1/T_2$$

(la quale è stata posta a fondamento della scala termodinamica di temperatura).

Ma dal momento che essa è una conseguenza di una dimostrazione non condivisibile del teorema di CARNOT, ne consegue che

l'attendibilità della scala assoluta di KELVIN è compromessa fin dalle sue fondamenta.

Si tratta ora di approfondire le conseguenze di quanto finora è stato evidenziato.

Discutiamo ora su come la Comunità Scientifica abbia reso operativa la scala termodinamica di temperatura. Come si è visto, tale operatività si ottiene inserendo i valori numerici noti nel primo e nel secondo membro dell'equazione

$$Q_l / Q_h = T_l / T_h$$

I valori noti sono la temperatura del punto triplo dell'acqua, pari a 273,16 K, e la quantità di calore Q_o scambiata dal ciclo di CARNOT a tale temperatura. Facendo tali sostituzioni, si ottiene l'equazione che qui si riporta per comodità,

$$T = 273,16 K (Q/Q_o)$$

in cui Q è la quantità di calore da misurare e T è la temperatura incognita da determinare.

Per chiarire meglio il significato dell'equazione di cui sopra, dobbiamo ricordare quanto abbiamo in precedenza osservato: “la macchina di CARNOT è diventata uno strumento per “misurare” temperature secondo una scala arbitraria.”

Ciò significa che si sta considerando un ciclo di CARNOT parzialmente immaginario, in cui l'isoterma più calda avviene alla temperatura (nota) del punto triplo dell'acqua (273,16 K).

Si deve quindi sperimentalmente misurare la quantità di calore Q_o che tale isoterma scambia a questa temperatura. Poi si deve sperimentalmente misurare anche la quantità di calore Q scambiata dalla isoterma alla temperatura incognita T .

Attenzione: le suddette misure devono essere fatte quando si è sicuri che le due isoterme di cui sopra si possono congiungere con due

adiabatiche teoricamente individuate, tali da formare, nel complesso, un ciclo di CARNOT; un procedimento, questo, che è così complesso che è arduo definirlo come una “misurazione”.

Un altro aspetto connesso all'equazione

$$T = 273,16 K (Q/Q_o)$$

che diventa critico quando la si usa per argomentare sulla irraggiungibilità dello zero assoluto, è che il valore nullo della temperatura T dello zero assoluto che si vorrebbe “misurare”, si dovrebbe ottenere “moltiplicando” un valore non nullo ($273,16/Q_o$), per un altro valore (la quantità di calore Q scambiata dalla isoterma più fredda), il quale, però, è sempre diverso da zero, non in virtù del III Principio della termodinamica, come si è finora ritenuto, bensì perché qualunque esperimento finora tentato per raggiungere la temperatura di zero K non ha mai conseguito tale risultato.

Pertanto il risultato di tale moltiplicazione matematica non fornirà mai $T=0$ K.

Come abbiamo accennato nel paragrafo precedente, infatti, tutte le presunte “dimostrazioni” matematiche del III Principio della Termodinamica non sono valide, essendo non divisibile qualunque tentativo di dimostrare il teorema di CARNOT che è alla base di esse.

Ne consegue che lo zero assoluto in gradi KELVIN non è raggiungibile per alcune ragioni fisiche, le quali, però, devono essere ancora determinate.

Le considerazioni di cui sopra portano a concludere che non è corretto caratterizzare il III Principio della Termodinamica come un teorema dimostrabile.

Il III Principio della Termodinamica sembra essere invece essere un vero e proprio Principio fisico.

Se dunque l'irraggiungibilità della temperatura zero in gradi KELVIN non deriva dalla definizione della scala assoluta di KELVIN, ma è una proprietà fisica della Natura, viene spontanea l'idea di rappresentare tale irraggiungibilità facendo in modo tale che la temperatura di zero gradi KELVIN corrisponda ad un numero negativo infinitamente grande.

9.8 CRITICA: SECONDO ASPETTO SCONCERTANTE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

Come si è visto, l'impostazione della ITS-90 garantisce che il valore di una temperatura incognita (da misurare) sia compresa tra due punti fissi, soltanto se essa è maggiore di 83 K e minore di 1235 K.

È vero che il campo di temperature della ITS-90 è stato esteso verso il basso; prima fino a 0,65 K e poi, nel 2000, fino a 0.9 mK (millikelvin), tuttavia bisogna notare che tali estensioni sono state ottenute utilizzando la macchina di CARNOT come mezzo per “misurare” temperature molto basse.

Quando la temperatura incognita è compresa tra le temperature dei punti fissi di riferimento, la determinazione del suo valore si può ottenere mediante misurazioni effettuate sperimentalmente, utilizzando strumenti simili o addirittura uguali a quelli impiegati per determinare le temperature dei punti fissi.

Al contrario, quando la temperatura da valutare è al di sotto del più basso punto fisso di riferimento, non sembra abbia senso fisico affermare che essa può essere “misurata”, ma sembra più giusto ritenere che essa può essere “stimata” tramite una “estrapolazione” matematica.

Tale estrapolazione viene infatti realizzata partendo dal valore della temperatura del punto fisso immediatamente superiore, e

“calcolando”, con la procedura descritta in precedenza, il valore della temperatura incognita.

Ricordiamo che tale procedura è basata sul presupposto che il teorema di CARNOT sia stato dimostrato.

Ma dato che il teorema di CARNOT non ha trovato una soddisfacente dimostrazione, dobbiamo concludere che la determinazione del valore di una temperatura inferiore al punto fisso a 83 K non può essere ritenuta attendibile.

9.9 CRITICA: TERZO ASPETTO SCONCERTANTE DELLA SCALA TERMODINAMICA DI TEMPERATURA

Un ulteriore aspetto, a mio avviso, sconcertante, relativamente alla definizione della scala termodinamica di KELVIN, è quello di nuovo connesso alle procedure operative.

L'esempio visto in precedenza, relativo ai cicli reversibili con rendimento pari a 0.9, sembra implicare che, nella scala di KELVIN, non esista un unico segmento di riferimento (o unità di misura) uguale per tutti i valori di temperatura.

È come se procedendo verso temperature più basse, l'unità di misura della temperatura termodinamica si accorciasse, dato che intervalli sempre più piccoli di temperatura termodinamica determinano lo stesso rendimento teorico massimo, purché il rapporto tra le due temperature resti sempre dello stesso valore.

Secondo questo concetto, la temperatura di 1K (un grado Kelvin), che è vicina allo zero assoluto, “vale” molto di più di 1K che è lontano dallo zero assoluto.

Al riguardo, è utile ricordare e mettere a confronto due eventi.

Il primo è quello avvenuto in occasione della XIII Conferenza Generale su Pesi e Misure (CGPM) del 1967, nel corso della quale è stato convenuto che il grado Kelvin è definito come la frazione

$1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua: frazione che non cambia sia vicino che lontano dallo zero assoluto.

Il secondo evento è quello avvenuto in occasione della XVII CGPM del 1983, nel corso della quale si convenne che il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce in un intervallo di tempo pari a $1/299792498$ di secondo.

Il punto da chiarire è allora il seguente: Se si ammette che una temperatura espressa in gradi KELVIN (quella del punto triplo dell'acqua) sia “frazionabile”, sembra che si ammetta anche che più frazioni di temperatura possano essere sommate (come è possibile fare con le lunghezze), ma ciò è in contrasto con il fatto che la temperatura non è una grandezza estensiva, bensì intensiva.

Tutto ciò non sembra razionale e costituisce, a mio avviso, motivo di profonde riflessioni.

9.10 CONSIDERAZIONI SULLA POSSIBILITA' DI DEFINIRE UNA VERA “UNITÀ DI MISURA” PER LA TEMPERATURA

Se una uguale differenza tra due diverse temperature, espresse in gradi Kelvin, può determinare valori di rendimento diversi a seconda di dove si trova il valor medio di detto intervallo di temperature, viene meno il presupposto fondamentale per definire una vera “unità di misura” per la temperatura.

La scala di KELVIN è definita “assoluta” solo in virtù dell'opinione comune che essa non sia basata sulle proprietà di qualche particolare sostanza.

In realtà, quella di KELVIN è comunque una scala “relativa” di temperature, in quanto fa riferimento ad una temperatura convenzionale: la temperatura del punto triplo dell'acqua.

Inoltre, la scala di temperature di KELVIN ha un altro grave difetto: non è basata su un “fenomeno fisico” che dipende solo dalla temperatura, ma su un teorema di logica-matematica.

Sono pertanto del parere che per ottenere una vera scala assoluta di temperatura si dovrebbe andare alla ricerca di un “fenomeno fisico” le cui implicazioni energetiche dipendono solo dalla temperatura.

9.11 PROPOSTA DI UNA NUOVA SCALA RAZIONALE ASSOLUTA DI TEMPERATURA

Le considerazioni espresse nel capitolo relativo alla termodinamica atomistica, suggeriscono la possibilità, se non la necessità, di sostituire la scala termodinamica di temperatura con una scala basata sul fenomenofisico della radiazione termica di corpo nero.

Come abbiamo infatti visto che la radiazione di corpo nero non dipende dalla sostanza emittente, ma solo dalla sua temperatura.

Ci si può chiedere se l'impegno necessario per rendere operativa una nuova scala assoluta di temperatura basata sulla radiazione termica di corpo nero sia giustificato dai vantaggi che se ne trarrebbero.

A giudizio dello scrivente ci sarebbero diversi vantaggi, i quali consisterebbero nell'eliminazione, o almeno nella riduzione, delle irrazionalità della scala termodinamica di KELVIN (una conseguenza dell'altra) che possono essere riassunte come segue:

- 1) L'irrazionalità di assumere come base di partenza un teorema matematico invece di un fenomeno fisico;
- 2) L'irrazionalità di definire una “unità” di misura della temperatura per tale scala ($1K = 1/273,16 T_0$), come si può fare per grandezze fisiche estensive, mentre il concetto attualmente condiviso di temperatura corrisponde a una grandezza fisica intensiva;
- 3) L'irrazionalità connessa con la non-uniformità del “valore” (in termini di rendimento) che l’“unità” di misura della temperatura

assume in un certo punto della scala, al variare del valore (espresso in gradi Kelvin) della temperatura del particolare punto della scala preso in considerazione;

4) L'irrazionalità di scegliere i fattori di scala in modo che il limite per le basse temperature corrisponda al valore zero, ove invece tale valore è fisicamente irraggiungibile poiché *“la radiazione elettromagnetica spontanea emessa dai corpi macroscopici non può essere annullata”* (proposizione che si potrebbe assumere come terzo principio della termodinamica).

Il programma per creare una scala assoluta di temperatura più razionale della scala di KELVIN potrebbe consistere semplicemente nei due passi seguenti:

1) Determinare l'energia quadratica media **specificata** (per unità di superficie e di tempo) emessa sotto forma di onde elettromagnetiche dal corpo nero posto alla temperatura (espressa in gradi kelvin) di un “punto di riferimento”;

2) Assumere tale energia specifica come valore della stessa temperatura espressa nella nuova scala.

In questo modo, una certa temperatura espressa in gradi Kelvin assumerebbe il ruolo di un parametro da inserire nell'equazione dell'energia di corpo nero (legge di Stefan-Boltzmann), per convertire la medesima temperatura nel valore che le deve corrispondere nella nuova scala.

Le dimensioni fisiche della temperatura espressa dalla nuova scala sarebbero i W/m^2 del Sistema Internazionale delle Unità, e quindi $1W/m^2$ potrebbe essere la relativa unità di misura.

Per evidenziare il carattere veramente “Assoluto” e “Razionale” di rappresentare le temperature in tal modo, si potrebbe denominare questa unità di misura con

°Ar

cioè la lettera maiuscola dell'alfabeto Greco A (alfa), preceduta dal simbolo utilizzato per indicare i Gradi ($^{\circ}$), seguito dalla “R” minuscola.

La necessità di stabilire il “punto di riferimento” di cui sopra non è in contrasto con il carattere “assoluto” della scala di temperature qui proposta; è invece coerente con il concetto universalmente condiviso della arbitrarietà di qualunque tipo di scala di temperatura.

Se si prende come punto di riferimento la temperatura del punto triplo dell'acqua ($T = 273,16 \text{ K}$), la legge di Stefan-Boltzmann ($I = \sigma T^4$) consente di calcolare la potenza totale emessa per unità di superficie (I).

Essendo $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, il valore assunto da I quando $T=273,16 \text{ K}$ è $315,68 \text{ (W/m}^2\text{)}$, il quale può semplicemente costituire il valore di temperatura, espresso nella nuova scala razionale, della stessa temperatura espressa in K ($273,16 \text{ K} \rightarrow 315,68 \text{ W/m}^2$ o, utilizzando la simbologia proposta: $315,68 \text{ }^{\circ}\text{Ar}$).

La temperatura espressa nella nuova scala non diventa una grandezza “estensiva”, essendo “specificata”, ma resta, come è necessario che sia, una grandezza intensiva.

Questo modo di esprimere la temperatura rispetta il principio zero della termodinamica (proprietà transitiva dell'equilibrio termico).

Osservando la seguente Tabella si vede che la scala assoluta razionale elimina le irrazionalità della scala termodinamica precedentemente evidenziate ai punti 1) e 2); riduce l'irrazionalità insita nella scala di KELVIN che deriva dalla sua definizione, precedentemente evidenziata al punto 3), ed elimina l'irrazionalità di cui al punto 4), in quanto il valore della temperatura espresso in $^{\circ}\text{Ar}$ non può mai assumere il valore zero.

Tabella

K	3695	1000	273, 16	100	13,81	10	1	0,1
°C	3421,8 4	726,84	0	-173,16	-259,35	-263,16	-	-
							272,1 6	273,06
°Ar	10,56 10^6	5,67 10^4	55,9 9	$5,67 \cdot 10^{-2}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$	$5,67 \cdot 10^{-4}$	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$5,67 \cdot 10^{-12}$
η (To)	0,9261	0,7268	0,00 00	0,1732	0,9494	0,9634	0,996 3	0,9996

L'ultima riga della tabella di cui sopra riporta i valori teorici di rendimento η calcolati in base al teorema di CARNOT (nella supposizione che sia valido), tra le due temperature indicate in ogni colonna e la temperatura T_0 del punto di riferimento (273,16 K).

Ad esempio, 0,9261 è l'efficienza che si ottiene tra 3695 K e 273,16 K, ovvero, tra $10,56 \cdot 10^6$ °Ar e 55,99 °Ar.

La prima colonna numerica a sinistra mostra quali sono i valori di temperatura espressi in gradi centigradi (°C) e gradi assoluti razionali (°Ar), che corrispondono alla temperatura di 3695 K e ad un rendimento teorico di 0,9261.

Come si vede, il rendimento teorico di 0,9261 corrisponde alle due temperature di 3695 e 273,16 K, tra le quali c'è una differenza di 3421,84 K, ma se le due temperature vengono misurate nella nuova unità di misura, la loro differenza vale $(10,56 \cdot 10^6 - 55,9)$, circa $10,56 \cdot 10^6$ °Ar.

La seguente Tabella mostra ancora meglio la differenza tra la scala razionale e quella di KELVIN in relazione al rendimento teorico classico.

Tabella

Th (K)	3695	1000	100	10	1	0,1
Tl (K)	1000	100	10	1	0,1	0,01
Th (°Ar)	$10,56 \cdot 10^6$	$5,67 \cdot 10^4$	$5,57 \cdot 10^2$	$5,67 \cdot 10^4$	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$5,67 \cdot 10^{-12}$
Tl (°Ar)	$5,67 \cdot 10^4$	$5,67 \cdot 10^2$	$5,67 \cdot 10^4$	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$5,67 \cdot 10^{-12}$	$5,67 \cdot 10^{-16}$
$\eta(\text{Th}, \text{Tl})$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Ogni colonna della Tabella riporta coppie di temperature T_h e T_l (espresse nelle due scale) che assicurano un rendimento teorico uguale a 0,9 (ultima riga).

Come si può notare, procedendo da destra verso sinistra, da un certo punto in poi la differenza tra le coppie T_h e T_l espresse in °Ar aumenta in maniera vertiginosa rispetto a quella delle corrispondenti coppie T_h e T_l espresse in K.

La scala assoluta razionale di temperatura, pertanto, mette in evidenza la caratteristica del valore zero nella scala termodinamica di essere irraggiungibile.

Questo era già noto, ma ora c'è un motivo ben preciso che giustifica l'esistenza di questa irraggiungibilità, consistente nella realtà fisica posta in evidenza da AGENO con la seguente proposizione: *“la radiazione elettromagnetica spontanea emessa dai corpi macroscopici non può essere annullata”*.

Pertanto, se nell'equazione Stefan-Boltzmann ($I = \sigma T^4$) l'intensità (I) al primo membro non può mai assumere il valore zero, allora

neppure la temperatura T (espressa in una qualunque scala, purché razionale) al secondo membro potrà valere zero.

È conveniente, quindi, assumere la proposizione di cui sopra come un enunciato del Terzo Principio della Termodinamica.

CAPITOLO 10

APPENDICE B

TEOREMI RELATIVI A CICLI IDEALI CON GAS REALI

Tratto dal Capitolo 9 del libro dell'autore "Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale"

10.1 PREMESSA

Le considerazioni seguenti sono relative a cicli di Ericsson e di Stirling ideali, del tutto privi di imperfezioni di tipo tecnico e di qualunque forma di attrito, perdita di calore o fenomeni di viscosità in ogni loro parte, il tutto in una maniera analoga a quanto si ipotizza in termodinamica classica nello studio delle proprietà del ciclo ideale di CARNOT.

Dato che in questo libro ci si riferisce al ciclo di Ericsson in un sistema in cui il fluido può muoversi con moto stazionario, considereremo anche il caso in cui il fluido stesso si muova molto lentamente, in modo tale che lungo le isoterme la pressione vari "molto gradualmente", secondo i dettami di CLAUSIUS.

Questa caratteristica è ottenibile immaginando di poter rendere sufficientemente ampia la sezione delle condutture entro cui il fluido si muove.

Oltre a ciò, è anche possibile immaginare di poter variare, punto per punto, la sezione della condotta, in modo che le variazioni di volume specifico che sono prodotte dalle variazioni di temperatura del fluido nelle isobare non diano mai luogo a variazioni della

velocità del fluido stesso.

Per evitare contributi alle quantità di calore derivanti da dislivelli, si immaginerà il circuito del fluido tutto contenuto in un piano orizzontale rispetto alla forza di gravità.

Queste richieste, del tutto ideali, costituiscono la base di partenza per lo studio delle prestazioni teoriche massime di cicli di Ericsson con flusso stazionario.

Prima di iniziare l'esposizione dei teoremi sul ciclo di Stirling ideale e sul ciclo di Ericsson ideale, premettiamo anche alcune considerazioni di carattere generale.

Dal momento che anche i più moderni tentativi di razionalizzare la teoria classica del calore partono da assiomi che sono riconducibili a quelli di CARNOT, ciò vuol dire che le idee di CARNOT erano espressione di sue intuizioni di tipo superiore.

Apparentemente, egli aveva compiuto quel salto trascendente che consente a delle idee di assumere il valore di teoria. Quando questo fatto si verifica, nuovi percorsi mentali sono aperti dai pionieri della scienza.

Fu probabilmente per questo motivo che i cosiddetti Padri Fondatori della teoria dinamica del calore non poterono far altro che continuare a considerare le nuove idee di CARNOT, cercando di adattarle alla nuova realtà fisica.

Risulta conveniente, tuttavia, riconsiderare le primitive espressioni, talvolta imprecise nella forma, con cui questi precursori hanno cercato di impostare i concetti, poiché non è improbabile che, attraverso il progresso della conoscenza, esse possano assumere nuovi significati.

Questo sembra essere particolarmente vero per quanto riguarda i criteri con cui CARNOT riteneva di poter individuare il massimo rendimento dei cicli. Ricordiamo, infatti, che CARNOT usò tre

diversi criteri per riconoscere in una macchina ciclica il massimo rendimento di un ciclo motore; essi sono:

1) Non deve esistere mai una variazione di temperatura che non sia causata da una variazione di volume; viceversa, ogni volta che questa condizione è verificata si ha il massimo rendimento.

2) Devono mancare inutili ristabilimenti del calore, per cui mai corpi a temperatura sensibilmente diversa devono venire a contatto tra di loro.

3) Tutto il calore viene assorbito alla temperatura più alta e rilasciato alla temperatura più bassa.

CARNOT aveva legato tra di loro, in vario modo, questi concetti, poiché egli considerò solo il suo ciclo. Quindi, non c'è alcun dubbio che essi siano contemporaneamente presenti nel ciclo di CARNOT.

Tuttavia, poiché abbiamo introdotto il concetto di ciclo ideale di Stirling e di Ericsson in un gas reale, c'è motivo di credere che in tali cicli questi criteri non sempre coesistano, ed è interessante vedere come questi criteri si differenzino nei due cicli suddetti e nei vari casi per essi possibili.

Anticipando leggermente quello che andremo a dedurre con l'applicazione dei seguenti teoremi sviluppati per i gas reali, e facendo anche uso di quanto già detto nei capitoli precedenti, possiamo dire che:

La prima condizione, così come è enunciata non si verifica mai nelle isocore del ciclo di Stirling e nelle isobare del ciclo di Ericsson con recuperatore di calore.

Infatti, la prima condizione non può verificarsi nelle isocore poiché queste trasformazioni avvengono senza variazione di volume.

Essa non può verificarsi nelle isobare attuate con recuperatore, poiché in queste trasformazioni il cambiamento di volume non è la

causa, ma “l'effetto” del cambiamento di temperatura.

La seconda condizione si verifica in entrambi i cicli solo in condizioni eccezionali.

Infatti essa si verifica in entrambi i cicli citati, solo se essi sono equipaggiati con recuperatori di calore perfetti ed inoltre solo se le due quantità di calore delle isocore o delle isobare sono uguali.

La terza condizione si verifica sempre, ma non nel senso indicato da CARNOT, infatti essa si verifica anche quando le due quantità di calore delle isocore e delle isobare sono diverse, perché, in ogni caso, come sarà più chiaro dai teoremi, le quantità di calore residue si potranno sempre porre a carico delle due sorgenti estreme, anche se queste quantità di calore sono “irreversibili”, dato che la seconda condizione non è sempre soddisfatta.

Per rendere più agevole la stesura dei seguenti teoremi ed intuitiva la loro comprensione, ci serviremo di alcuni diagrammi e di alcune figure, anche se questo tipo di presentazione è poco usata. Nei seguenti due paragrafi preciseremo meglio alcuni concetti già espressi in precedenza allo scopo di chiarire la definizione di recuperatore perfetto di calore sia per il ciclo di Ericsson ideale che per il ciclo di Stirling ideale.

10.2 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE

L'idea che emerge dallo studio della termodinamica classica, è che le possibilità di calcolo riguardanti le trasformazioni irreversibili siano enormemente ridotte rispetto a ciò che è possibile fare per quelle reversibili.

Questa idea è ampiamente verificata e deriva dal fatto che, in genere, in una trasformazione irreversibile non è possibile definire dei valori univoci per le funzioni di stato del sistema. Ne consegue che risulta

difficile calcolare le variazioni delle quantità energetiche associate al processo.

Tuttavia, vogliamo qui trattare il caso di due trasformazioni particolari, per le quali la presenza di un certo tipo di irreversibilità non pregiudica la possibilità di un calcolo esatto: la trasformazione isocora e la trasformazione isobara.

Il caso delle trasformazioni isocore reversibili o irreversibili non presenta particolari difficoltà, dato che in esse il lavoro è sempre nullo. Conviene pertanto esaminare in un secondo momento il caso delle trasformazioni isocore irreversibili.

Riprendiamo quindi alcuni concetti già esaminati, per paragonare il caso della trasformazione isobara reversibile e il caso della trasformazione isobara irreversibile. Lo scopo di queste considerazioni preliminari è quello di definire le caratteristiche di uno scambiatore perfetto e un recuperatore perfetto di calore per le isobare, i quali consentano di sviluppare teoremi relativi al ciclo ideale di Ericsson.

10.2-A) ACCOPPIAMENTO DI DUE TRASFORMAZIONI ISOBARE STAZIONARIE REVERSIBILI

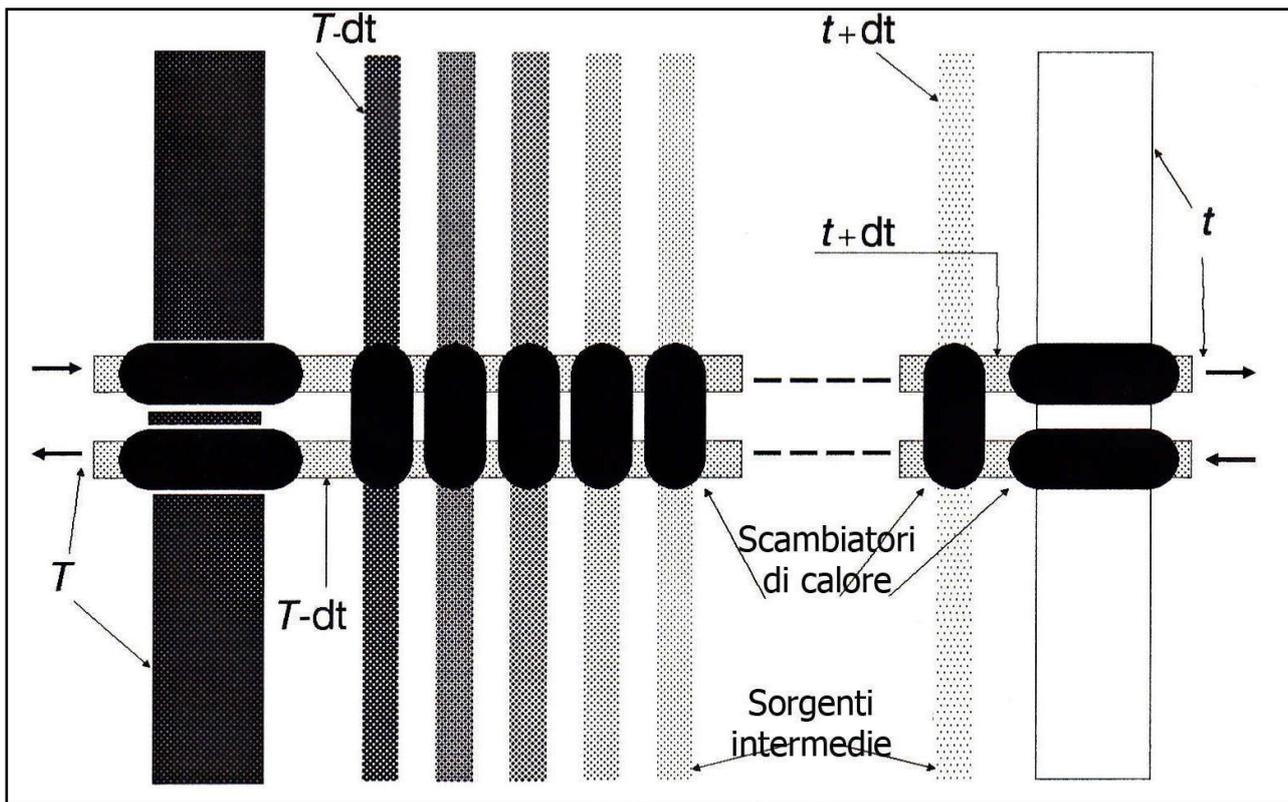


Fig. 10.1 Accoppiamento di due trasformazioni isobariche reversibili tramite scambiatori di calore intermedi.

Consideriamo dapprima il sistema fisico della precedente Fig.10.1, tratta dal Capitolo 5 del citato libro dell'autore, in cui sono presenti due sorgenti principali T e t (che qui chiameremo T_2 e T_1 con $T_2 > T_1$) ed infinite sorgenti intermedie e relativi scambiatori di calore.

Ogni sorgente intermedia ha una temperatura che differisce dalla precedente e dalla successiva di un infinitesimo.

Vi sono due flussi stazionari isobari (con diverse pressioni) di un medesimo fluido reale; il fluido viene condotto da tubi che sono in contatto termico con il sistema di infinite sorgenti tramite scambiatori di calore.

Nelle due sorgenti principali T_2 e T_1 sono presenti altri due scambiatori di calore terminali. Dopo aver attraversato il sistema descritto, il fluido fuoriesce.

Lo scopo degli scambiatori terminali è quello di consentire al fluido di assumere la temperatura di una sorgente principale prima di immettersi o di fuoriuscire dalla serie di sorgenti intermedie.

La presenza di questi due scambiatori terminali non è sempre necessaria ma, per considerare un caso generale, li supporremo presenti.

Consideriamo ora uno solo di tali flussi, e prendiamo in esame una porzione sufficientemente piccola del fluido seguendone il percorso lungo il tubo di cui sopra, secondo un criterio Lagrangiano.

Secondo quanto è già noto, per tale trasformazione si possono calcolare la quantità di calore Q , il lavoro termodinamico L e la variazione di entropia ΔS .

Infatti, con riferimento all'unità di massa, se V_1 e V_2 sono rispettivamente il volume iniziale e quello finale, abbiamo:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = \int_{S_1}^{S_2} T dS = \Delta H$$

$$L = P(V_2 - V_1)$$

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

Sommando tutti i contributi delle porzioni del fluido, si possono ottenere le variazioni totali di dette grandezze per tutta la massa del fluido in esame.

Se consideriamo invece il fluido secondo un punto di vista Euleriano, possiamo scrivere il bilancio energetico della porzione di tubazione compresa tra un ingresso “a” e uscita relativa “b”, utilizzando il teorema di Bernoulli generalizzato, cioè:

$$gz_a + \frac{v_a^2}{2} + P_a V_a + U_a =$$

$$= gz_b + \frac{v_b^2}{2} + U_b + Q + L_e$$

In cui Q ed L_e rappresentano, rispettivamente, il calore scambiato con l'esterno ed il lavoro scambiato con l'esterno tra **a** e **b**. Ricordando la definizione di entalpia ($H = U + pV$) se il fluido nel

suo percorso da **a** a **b** non cambia quota ($z_a = z_b$) e se, inoltre, le sezioni sono tali da mantenere uguali le velocità ($v_a = v_b$), allora la relazione precedente diventa:

$$H_a = H_b + Q + Le$$

Ma in una isobara attuata tramite un recuperatore di calore, il fluido che scorre all'interno del recuperatore stesso non scambia lavoro con l'esterno, quindi $Le=0$.

Pertanto, la quantità di calore Q che una isobara richiede (per unità di massa del fluido) è data dalla differenza di entalpia tra gli stati estremi, come accade anche per una isobara non stazionaria, cioè ancora:

$$Q = \Delta H$$

10.2-B) ACCOPPIAMENTO DI DUE TRASFORMAZIONI ISOBARE STAZIONARIE IRREVERSIBILI

La trasformazione isobara irreversibile, alla quale ora ci si riferisce, si svolge con modalità analoghe a quelle indicate nella precedente Fig. 10.1, ma vengono a mancare le sorgenti intermedie e i relativi scambiatori intermedi di calore, come mostrato nella seguente Figura 10.2.

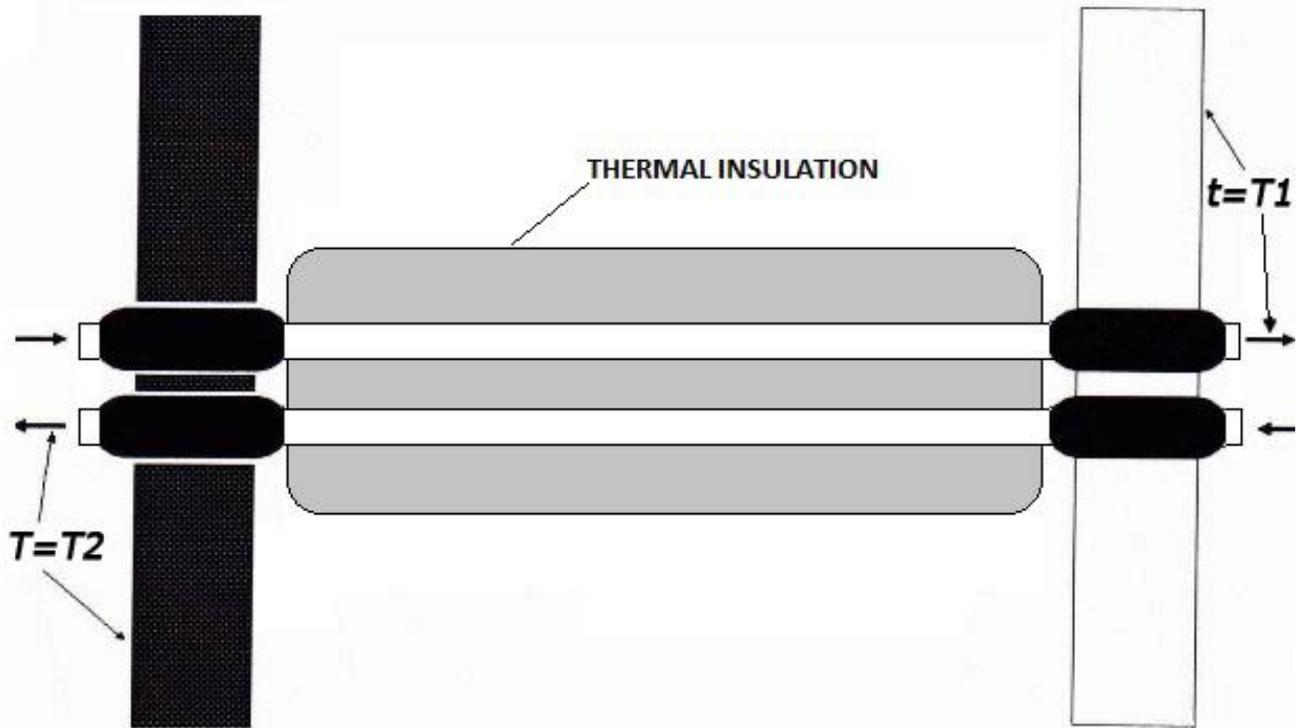


Fig. 10.2

In ognuna delle due sezioni, il fluido reale viene condotto, attraverso una tubazione, direttamente da una sorgente a temperatura T_1 ad un'altra a temperatura T_2 , passando però attraverso due soli scambiatori di calore incorporati in queste due sorgenti, come già detto in precedenza. Nessun'altra sorgente intermedia è presente tra le due.

Si deve immaginare tali scambiatori supplementari come costituiti da tubazioni di lunghezza molto superiore alla sezione interna, ed con pareti interne fatte di materiale avente una conducibilità termica sufficientemente **bassa**.

Questa conformazione può realizzare una conduzione graduale del calore tra fluido e sorgente, tale da essere rapportata alla velocità del fluido che scorre all'interno dei tubi.

Più la conducibilità termica delle pareti è bassa, maggiore sarà la lunghezza richiesta perché tale tubazione riesca a rendere la temperatura del fluido uguale a quella della sorgente stessa, migliore sarà anche l'uniformità della pressione lungo il tubo. Infatti,

distribuendo lo scambio di calore su un percorso sempre più lungo, si diminuiranno sempre più i gradienti di pressione trasversali alla direzione del moto dovuti al cambiamento di temperatura del fluido. Aumentando, invece, la sezione interna del tubo, si possono diminuire le differenze di pressione tra ingresso e uscita dello scambiatore.

Data una velocità iniziale del fluido, è sempre possibile immaginare una conformazione ideale (sezione, lunghezza, distribuzione della conducibilità termica) tale da ridurre al di sotto di un valore piccolo a piacere ogni differenza di pressione all'interno di detto scambiatore di calore, e una differenza di temperatura piccola a piacere tra la sorgente T_2 e il fluido da essa fuoriuscente.

Se, ad esempio, durante il tragitto tra T_1 e T_2 la temperatura del gas non cambia, allora ha luogo un semplice spostamento fisico dello stesso gas.

Quindi, tutta la trasformazione isobara irreversibile avviene all'interno dello scambiatore di calore contenuto in T_2 .

In queste condizioni ideali il lavoro termodinamico associato alla trasformazione avrà un valore uguale a quello della analoga trasformazione reversibile, inoltre, dato che gli stati iniziali e finali della trasformazione sono stati di equilibrio termodinamico, in ognuno di essi sarà definito un valore dell'energia interna.

Da quanto sopra segue, per il primo principio della termodinamica, che sarà anche definita la quantità di calore che la trasformazione richiederà.

Tale quantità di calore sarà quindi uguale a quella richiesta dalla analoga trasformazione isobara reversibile, ma sarà tutta fornita dalla sorgente T_2 ; possiamo quindi usare le stesse formule per calcolare tale quantità.

Per quanto riguarda la variazione di entropia, quella spettante al

fluido sarà ancora uguale a quella che corrisponde alla analoga trasformazione reversibile. Verrà ad essere di valore diverso la variazione di entropia indotta nella sorgente T_2 e, come conseguenza di ciò, la variazione totale di entropia sarà positiva, come si ritiene che debba verificarsi per una generica trasformazione irreversibile.

Da queste considerazioni, sviluppate per l'isobara irreversibile possiamo trarre delle importanti conclusioni circa la conformazione degli scambiatori di calore che non sarebbe stato facile ottenere limitando la nostra attenzione alle trasformazioni reversibili, a causa del fatto che in esse le variazioni infinitesime di temperatura tendono a occultare l'importanza della "imperfezione" degli scambiatori di calore.

In effetti, tra i requisiti richiesti per concepire un recuperatore perfetto di calore non è compresa una conducibilità termica infinita. E non c'è alcun dubbio che altrettanto deve valere per gli scambiatori di calore che consentono di concepire una isobara reversibile.

Infatti, è proprio l'imperfezione della conducibilità termica negli scambiatori, che consente alla trasformazione ideale di mantenere il suo carattere isobaro - carattere che non potrebbe mantenere in presenza di una elevata conducibilità termica.

Pertanto, nella dimostrazione dei teoremi relativi al ciclo di Ericsson, ove sia richiesto l'uso di un "recuperatore" di calore, si immaginerà che esso impieghi degli scambiatori di calore aventi le caratteristiche sopra indicate.

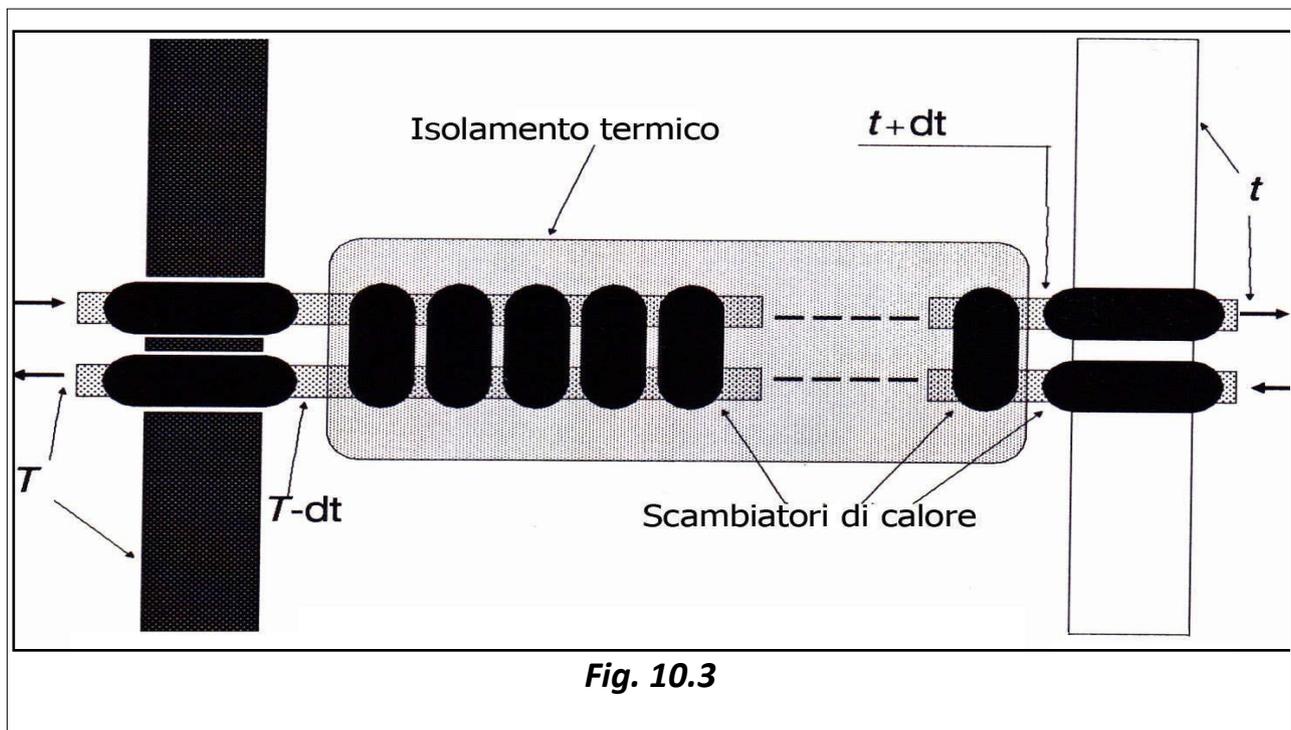
L'applicazione di queste idee ai teoremi seguenti sul ciclo di Ericsson ci consentirà di trarre delle dimostrazioni di notevole interesse.

10.3 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI

CALORE PER TRASFORMAZIONI ISOBARE

Nel seguito, durante la trattazione dei teoremi sul ciclo di Ericsson, vedremo che se le due trasformazioni isobare contrapposte si svolgono in un sistema simile a quello descritto in Fig.10.1, con un numero infinito di sorgenti intermedie, allora si possono sempre trovare le condizioni per cui “ognuna” delle sorgenti intermedie ha uno scambio di calore nullo.

In queste circostanze, dette sorgenti diventano “tutte” superflue e possono essere eliminate, mentre le coppie di scambiatori di calore, (o stadi di termalizzazione) possono restare, come mostrato nella seguente Figura 10.3.



Gli scambiatori di calore sono immaginati perfettamente isolati tra loro e rispetto all'ambiente esterno, e con le caratteristiche indicate nel precedente paragrafo.

Quando il numero degli stadi intermedi diverge, questa disposizione di scambiatori perfetti, accoppiati a due a due tra di loro e perfettamente isolati verso l'esterno, costituisce un recuperatore di calore ideale a flusso stazionario, utile a concepire un ciclo ideale di

Ericsson per un fluido reale.

10.4 DEFINIZIONE DI RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE PER TRASFORMAZIONI ISOCORE

Con riferimento alla Fig. 10.4 possiamo estendere alle isocore del ciclo di Stirling alcune delle considerazioni precedenti che si riferivano al ciclo di Ericsson.

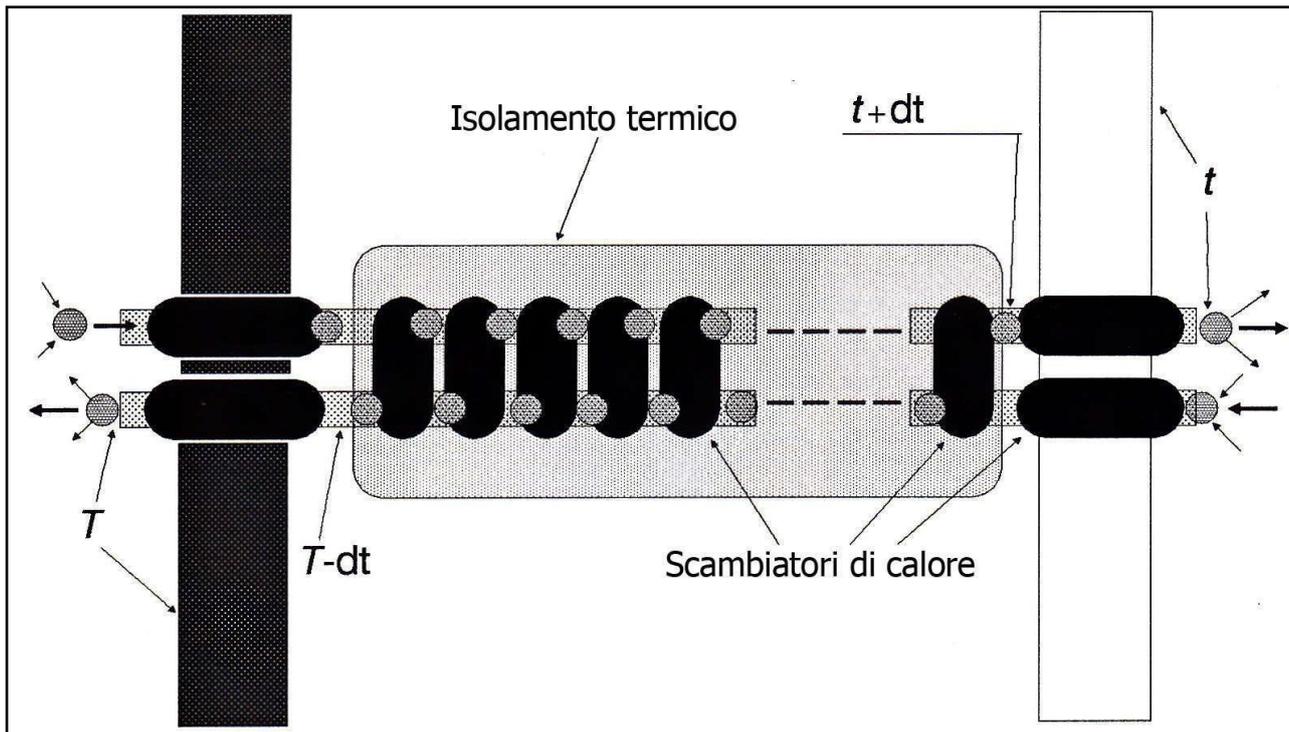


Fig. 10.4

Nella figura 10.4 è mostrato un modo ideale con il quale si può mantenere un moto stazionario isocoro tra due sorgenti, una alla temperatura T e l'altra alla temperatura inferiore t .

In ognuna delle condotte il fluido che entra in una sorgente, ad esempio a temperatura T , vi accede solo dopo essere stato intrappolato dentro dei contenitori di piccolo volume e di massa trascurabile rispetto alla massa di fluido che essi inglobano.

Questi contenitori vengono dapprima posti in contatto termico con uno scambiatore di calore incorporato nella sorgente principale di ingresso, e poi in contatto termico con infinite sorgenti (non

mostrate nella figura), aventi temperatura intermedia tra T e t , tramite una serie di scambiatori di calore, in modo che il fluido in essi contenuto venga sottoposto a graduali cambiamenti di temperatura.

Entrando, infine, nella sorgente principale, i contenitori vengono prima fatti passare attraverso un ultimo scambiatore di calore e poi vengono aperti, così che il fluido possa uscire. Analogamente per l'altra sezione.

Come nel caso dell'isobara, anche nell'isocora le grandezze termodinamiche principali, come il lavoro, il calore, la variazione di energia interna e la variazione di entropia, mantengono il loro valore sia nel caso che l'isocora sia reversibile che in quello in cui sia irreversibile.

Infatti il lavoro termodinamico è sempre nullo e se gli stati estremi sono di equilibrio le variazioni di energia interna sono sempre le stesse. Pertanto la quantità di calore richiesta è la stessa in entrambi i casi.

È ovvio, allora, che per le isocore non si pone alcun problema circa l'entità della conducibilità termica delle pareti interne degli scambiatori di calore. Ciò deriva dal fatto che il lavoro termodinamico associato all'isocora è nullo.

Nel corso delle dimostrazioni dei teoremi sul ciclo di Stirling, vedremo che facendo avvenire le due trasformazioni isocore contrapposte del ciclo in un sistema simile a quello descritto in Fig.10.4, avente un numero qualsiasi di sorgenti intermedie, si possono sempre trovare le condizioni per cui ognuna di queste sorgenti intermedie è sottoposta ad uno scambio di calore nullo.

In queste circostanze, dette sorgenti diventano tutte superflue e possono essere eliminate.

Al loro posto, potranno restare le coppie di scambiatori di calore (o

stadi di termalizzazione), che si immagineranno perfettamente isolati tra di loro e verso l'esterno e aventi le caratteristiche indicate nei paragrafi precedenti.

Quando il numero degli stadi diverge, questa disposizione di scambiatori perfetti, accoppiati a due a due tra di loro, perfettamente isolati sia tra di loro che verso l'esterno, costituisce un recuperatore di calore ideale a flusso stazionario, utile a concepire un ciclo ideale di Stirling per un fluido reale.

10.5 LEMMA LE-1

SUL RECUPERATORE PERFETTO E UNA COPPIA DI TRASFORMAZIONI ISOBARE RICHIEDENTI EGUALI QUANTITÀ DI CALORE

TESI:

Se in un fluido reale allo stato gassoso, due diverse ma contrapposte isobare aventi uguali temperature iniziali e finali, richiedono uguali quantità di calore per unità di massa, allora esiste una funzione di distribuzione della temperatura di infinite sorgenti intermedie che rende nullo il bilancio di calore di ognuna di tali sorgenti. In tali condizioni, le due contrapposte trasformazioni sono reversibili e possono essere attuate tramite un recuperatore perfetto di calore per le isobare.

DIMOSTRAZIONE:

Il sistema fisico a cui ci si riferisce in questo Lemma è costituito da due sorgenti principali di calore a temperature diverse e da una serie di sorgenti ausiliarie a temperatura intermedia tra le prime due, con differenze infinitesime tra adiacenti.

Inoltre due flussi stazionari e isobari di un fluido reale a pressioni diverse attraversano tutte gli scambiatori di calore e relative sorgenti ad una velocità arbitrariamente bassa. Ogni sezione delle condutture dei due flussi isobari è attraversata da identiche quantità di massa del

fluido stesso per unità di tempo. Il tutto come è rappresentato nella precedente Fig.10.1.

I mezzi tecnici che consentono al fluido di muoversi non interessano in questo teorema, essi sono dispositivi meccanici esterni al sistema considerato il cui unico compito è quello di mantenere costante il flusso.

Le caratteristiche intrinseche degli scambiatori perfetti consentono di mantenere tra le due estremità una differenza di pressione piccola a piacere, e di mantenere costante la velocità di flusso lungo il percorso interno.

Ciò premesso, se il fluido è allo stato gassoso in ogni fase del percorso, allora la sua temperatura è sempre maggiore di quella critica T_c , cioè:

$$T > T_c$$

Ciò implica che il fluido resterà sempre in fase gassosa.

Per definizione, è possibile esprimere il calore specifico a pressione costante di una qualsiasi sostanza con la seguente relazione differenziale:

$$C_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_p$$

Inoltre, utilizzando la funzione di stato entropia, si può anche porre la relazione precedente sotto la nota forma (“Heat and Thermodynamics”, M. Zemansky, R. Dittmann, McGraw-Hill Book Co. 1981, p.184) :

$$C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p \quad eq. (1.1)$$

Dalla (1.1) otteniamo:

$$\frac{C_p}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p \quad \text{eq. (1.2)}$$

È noto che se $T > T_c$, allora C_p è un numero sicuramente finito positivo, cioè:

$$0 < C_p < \infty$$

Pertanto, nella equazione (1.2) il primo membro è costituito dal rapporto di due grandezze positive (C_p e T), in cui il denominatore non si annulla mai e quindi sarà valida anche la seguente equazione:

$$0 < \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p < \infty \quad \text{eq. (1.3)}$$

Se la derivata parziale a pressione costante della funzione $S(T)$ è sempre positiva, ne deduciamo che **la funzione $S(T)$, relativa ad una isobara, deve essere una funzione monotona crescente** (al crescere di T , anche S cresce), e quindi anche la funzione inversa $T(S)$ deve essere monotona per una isobara.

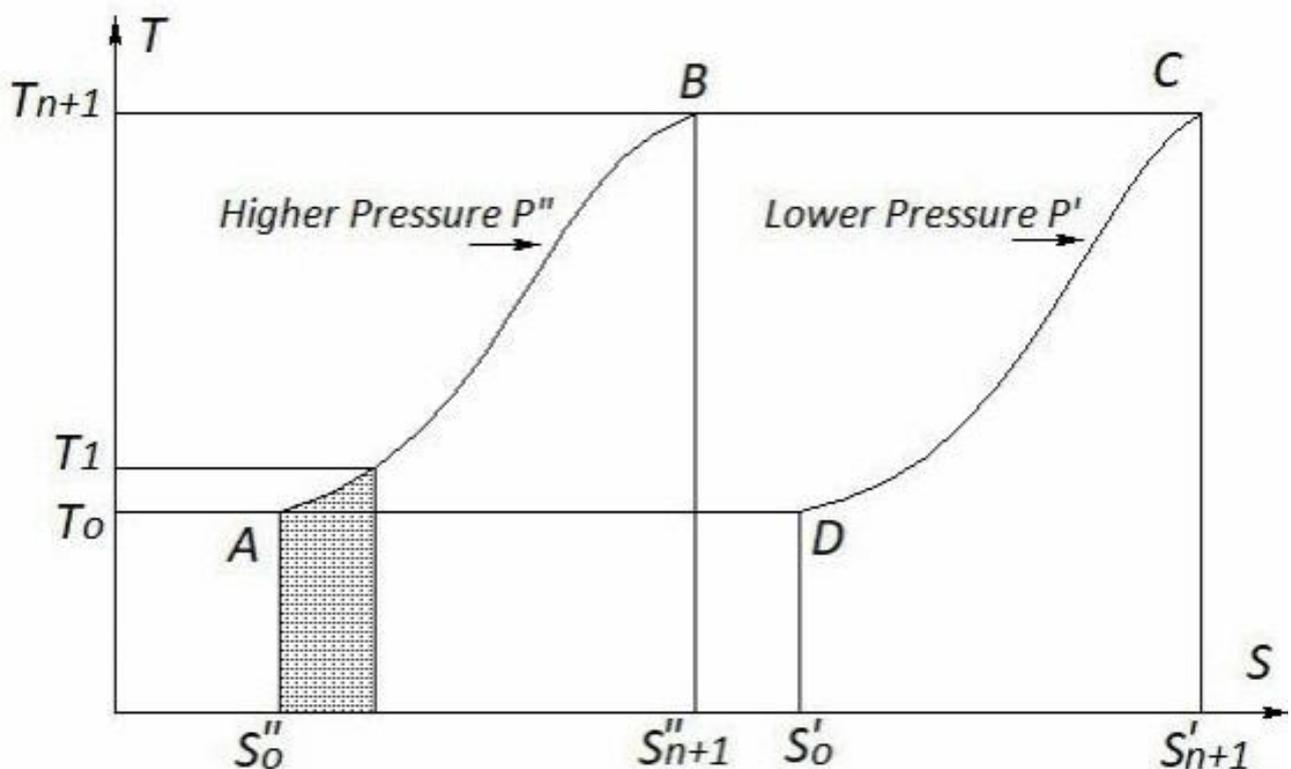


Fig.10.5

Con riferimento alla Figura 10.5, consideriamo il caso generico in

cui il fluido debba essere fatto passare da una temperatura inferiore T_o ad una superiore T_{n+1} , in modo isobaro e reversibile.

Consideriamo la quantità di calore che è necessaria per elevare in modo reversibile la temperatura del fluido dalla temperatura della sorgente fredda T_o alla temperatura di quella calda T_{n+1} a pressione costante P' .

Chiamando con Q' questa quantità di calore a pressione costante, ed indicando con $T'(S)$ la funzione che lega la temperatura e l'entropia alla pressione P' , possiamo scrivere:

$$Q'_p = \int_{S'_o}^{S'_{n+1}} T'(S) dS$$

Il fatto che detta quantità di calore sia esprimibile tramite l'entropia, grandezza fisica che è legata al secondo principio della termodinamica, in nessun modo implica che detta quantità di calore scaturisca da detto Principio. Infatti la quantità di calore suddetta è esprimibile anche nei tre seguenti modi, tra loro equivalenti, tutti derivanti dal primo principio della termodinamica, cioè:

$$2) Q'_p = H'_{T_{n+1}} - H'_{T_o}$$

$$3) Q'_p = L' + \Delta U' = P'\Delta V' + \Delta U'$$

$$4) Q'_p = \int_{T_o}^{T_{n+1}} C'_p dT$$

Per motivi di opportunità, sceglieremo di dimostrare il presente teorema utilizzando la prima di queste quattro diverse forme, sebbene sia possibile giungere alle medesime conclusioni mediante le tre altre espressioni.

Per quanto è già noto, la quantità di calore di cui sopra nondipende dalla reversibilità della trasformazione, purché la pressione sia costante.

Il segno algebrico dell'integrale dipende dal verso di percorrenza dell'isobara. Per l'isobara alla pressione superiore P'' varrà una analoga relazione:

$$Q''_p = \int_{S''_o}^{S''_{n+1}} T''(S) dS$$

Nella rappresentazione della precedente Fig. 10.5 sono mostrate le due funzioni $T(S)$; la quantità di calore Q''_p di cui sopra corrisponde all'area sottesa dalla curva $A-B$ fino all'asse delle ascisse, invece Q'_p corrisponde all'area sottesa dalla curva $D-C$ fino all'asse delle ascisse tra gli estremi di entropia dati.

Questa interpretazione geometrica consente una più facile dimostrazione del teorema, dato che, secondo l'ipotesi, le due aree sono uguali.

Consideriamo il caso in cui questi flussi isobari abbiano versi opposti, come avviene in un ciclo di Ericsson.

Supponiamo inoltre di utilizzare uno scambiatore di calore perfetto nella prima isobara per ottenere un contatto termico del fluido con una sorgente avente temperatura intermedia tra T_o e T_{n+1} .

Sia T_1 questa temperatura che, per motivo di opportunità, sceglieremo vicina a T_o , come mostrato nella seguente Figura 10.6 che rappresenta tale situazione nel piano T,S .

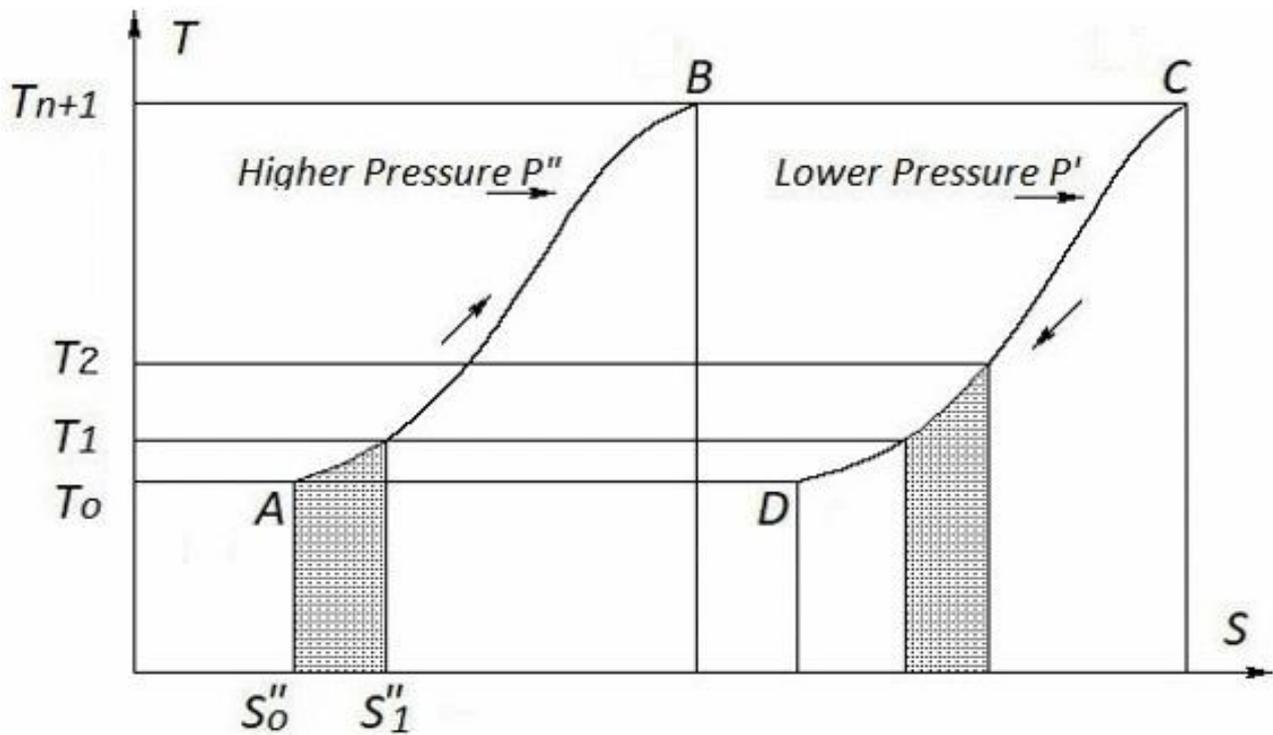


Fig. 10.6

Il fluido che si trova alla pressione P'' proviene dalla sorgente fredda T_0 e, entrando in contatto con lo scambiatore di calore, a sua volta in contatto con T_1 , assorbirebbe da questa sorgente intermedia una certa quantità di calore.

Questo passaggio di calore, dato che avverrebbe con differenze di temperatura finite, è definito “irreversibile”.

Chiamando con Q''_{T1} questa quantità di calore, la possiamo esprimere come:

$$Q''_{T1} = \int_{S''_0}^{S''_1} T''(S) dS$$

Nella Fig. 10.6 questa quantità di calore è rappresentata dall'area ombreggiata.

Se vogliamo neutralizzare lo scambio di calore di questa sorgente intermedia, possiamo utilizzare una parte del calore dell'altro ramo di isobara che si trova a pressione inferiore P' .

Per fare ciò, dobbiamo porre il flusso a pressione minore P' in contatto termico con lo scambiatore di calore precedente, e

introdurre nel sistema un secondo scambiatore di calore che sia in contatto, a sua volta, con un'altra sorgente la cui temperatura sia tale da produrre nella precedente sorgente una cessione di calore di valore assoluto pari al primo assorbimento. In modo, le due quantità di calore che sono a carico di questa sorgente T_1 possano compensarsi tra di loro.

Tuttavia, per ottenere ciò non basta trovare nella isobara inferiore P' una corrispondente quantità di calore, ma essa deve provenire tutta da una temperatura superiore a T_1 .

Poiché le due funzioni sono monotone crescenti, dato un valore di entropia S , a cui corrisponde un valore di T , è sempre possibile determinare, per ognuna delle due funzioni, un intorno di S in cui ad ogni valore di $S' > S$, corrisponda un valore di $T' > T$.

Questo concetto è evidente osservando la precedente Fig.10.6.

Resta quindi stabilito che il predetto annullamento è sempre possibile nelle condizioni specificate.

Questo procedimento può essere ripetuto, aggiungendo via via altre sorgenti ed altri scambiatori, fino a coprire quasi completamente le due trasformazioni isobare.

Possiamo rappresentare in Fig. 10.7 questa situazione intermedia, in cui si è limitato il numero delle sorgenti intermedie a cinque.

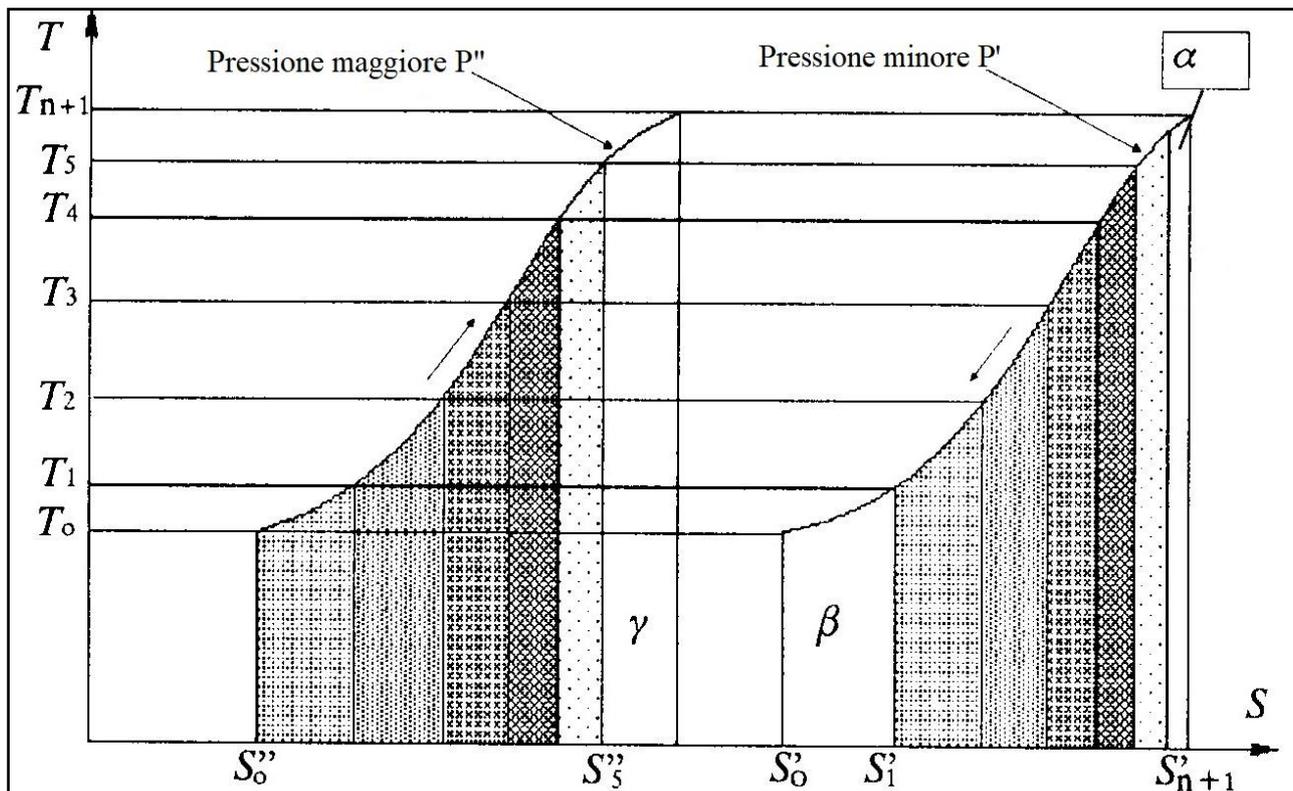


Fig. 10.7 Cinque sorgenti intermedie

Come si vede, avendo scelto T_1 in modo arbitrario, il valore finale T_5 di temperatura non assicurerà la neutralizzazione del bilancio di calore dell'ultima sorgente intermedia.

Tuttavia, **poiché le funzioni $T(S)$ sono continue e monotone, sarà sempre possibile scegliere opportunamente il valore di T_1 in modo tale da compensare anche l'ultima sorgente intermedia.**

Nella Fig. 10.7 tale condizione corrisponde all'annullamento dell'area α .

In generale, dato un numero N qualsiasi di sorgenti intermedie, sarà sempre possibile trovare un corrispondente insieme di valori delle rispettive temperature tale da annullare il bilancio di calore in ognuna di queste sorgenti intermedie.

Questo insieme di valori di temperatura potremo chiamarlo come l'insieme degli auto-valori, o soluzioni del problema della ripartizione esatta delle due quantità di calore tra N stadi di termalizzazione.

Se tutte le sorgenti intermedie possono essere neutralizzate, resta il problema di vedere quale è il comportamento delle due quantità di calore residue (le aree γ e β in Fig. 10.7) che sono a carico delle due sorgenti principali quando il numero N degli stadi diverge.

Il bilancio dell'isobara a pressione maggiore P'' può essere diviso in due parti. Una prima parte, comprende tutti gli scambi tra T_o e T_n , che è sempre compensata da una corrispondente quantità di calore proveniente dall'altra isobara, ed una seconda parte, cioè il resto non compensato, che è a carico della sorgente principale T_{n+1} . In formula:

$$Q''_p = \int_{s_o^n}^{s_n^n} T''(S) dS + \int_{s_n^n}^{s_{n+1}^n} T''(S) dS = \int_{s_o^n}^{s_{n+1}^n} T''(S) dS \quad eq.1.4$$

Analogamente, il bilancio dell'isobara inferiore può essere diviso in un resto non compensato a carico di T_o ed una seconda parte compensata, già citata, cioè:

$$Q'_p = \int_{s'_1}^{s'_o} T'(S) dS + \int_{s'_n}^{s'_1} T'(S) dS = \int_{s'_o}^{s'_{n+1}} T'(S) dS \quad eq.1.5$$

in cui l'inversione degli estremi di integrazione tiene conto del cambiamento di segno dovuto al verso opposto della trasformazione, rispetto alla prima. (In Fig. 10.7 le trasformazioni sono rappresentate in una disposizione che si riscontra in un ciclo di Ericsson usato come motore).

Per semplificare la scrittura poniamo:

$$q'' = \int_{S''_0}^{S''_n} T''(S) dS ;$$

$$R'' = \int_{S''_n}^{S''_{n+1}} T''(S) dS ;$$

$$Q'' = \int_{S''_0}^{S''_{n+1}} T''(S) dS .$$

$$R' = \int_{S'_1}^{S'_0} T'(S) dS ;$$

$$q' = \int_{S'_{n+1}}^{S'_1} T'(S) dS ;$$

$$Q' = \int_{S'_{n+1}}^{S'_0} T'(S) dS .$$

Con queste notazioni, la relazione (1.4) diventa:

$$q'' + R'' = Q'' \quad \text{eq. 1.7}$$

analogamente la (1.5) diventa:

$$R' + q' = Q' \quad \text{eq. 1.8}$$

Sommando membro a membro la (1.7) e la (1.8) e ricordando che

$$q'' + q' = 0$$

e che, per ipotesi,

$$Q'' + Q' = 0$$

otteniamo:

$$R'' + R' = 0 \quad \text{eq. 1.9}$$

Ciò dimostra che i due resti devono essere sempre uguali e opposti (area γ uguale all'area β), ma non implica che essi tendano a zero.

Tuttavia, si era in precedenza osservato che se il fluido è sempre in fase gassosa, la condizione

$$Q'' = - Q'$$

comporta il fatto che la relazione

$$q'' = -q'$$

può essere sempre mantenuta, per quanto vicino sia T_1 a T_o .

Pertanto, aumentando il numero intero N oltre ogni limite, si può ottenere che T_1 sia diverso da T_o di una quantità piccola a piacere, al limite infinitesima, per cui il resto R' può tendere a zero e quindi, per la (1.9), anche R'' deve tendere a zero.

Dal momento che tale ragionamento può essere ripetuto anche se il verso di percorrenza delle due isobare viene invertito, risulta dimostrato il fatto che gli scambi di calore delle infinite sorgenti intermedie sono neutralizzati, e ciò assicura la reversibilità della coppia di trasformazioni così considerate.

NOTA INCIDENTALI: **Attenzione, tale reversibilità non implica, come potrebbe sembrare, che sia stato dimostrato che gli scambi di calore delle infinite sorgenti intermedie siano tutti infinitesimi. Infatti il numero N delle sorgenti intermedie può tendere all'infinito anche se gli scambi di calore di alcune sorgenti intermedie sono di valore finito.**

Quindi, le sorgenti intermedie possono essere eliminate e, in base alla definizione di recuperatore perfetto per le isobare, resta dimostrato anche che un tale recuperatore di calore può rendere reversibili le due trasformazioni isobare considerate.

10.6 COROLLARIO CLE-1

NELLE CONDIZIONI INDICATE NELLA TESI DEL LEMMA LE-1, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE NULLI.

DIMOSTRAZIONE:

Se il resto R' tende a zero, allora la temperatura della sorgente principale T_o tende ad essere uguale, a meno di infinitesimi, alla temperatura della sorgente ausiliaria più vicina.

Lo stesso vale per l'altro resto R'' relativamente alla sorgente

principale T_{n+1} .

Pertanto, poiché entrambi i resti R' e R'' tendono a zero, quando un flusso di gas entra in contatto con una sorgente principale, la temperatura del gas differisce di infinitesimi rispetto a quella della sorgente, e ciò determina, nelle due sorgenti principali, scambi di calore infinitesimi, al limite tendenti a zero quando N diverge.

10.7 TEOREMA TE-1

SUL CICLO DI ERICSSON AVENTE ISOBARE CON QUANTITÀ DI CALORE DELLO STESSO VALORE

TESI:

Un ciclo di Ericsson ideale che impiega un gas reale tra due sorgenti estreme a temperature diverse, può essere percorso in modo reversibile e soddisfa le condizioni di massimo rendimento dovute a Carnot, se le quantità di calore associate alle due trasformazioni isobare sono uguali, e se esse sono attuate con un recuperatore di calore perfetto.

DIMOSTRAZIONE:

La dimostrazione della prima parte di questo teorema segue facilmente dal LEMMA LE-1, per la seconda parte è necessario discutere sui criteri di CARNOT.

Prima parte della dimostrazione

Nel LEMMA LE-1 e nel COROLLARIO CE-1, abbiamo dimostrato che due isobare contrapposte che richiedono uguali quantità di calore possono essere attuate in modo reversibile mediante un recuperatore perfetto di calore, senza che le sorgenti principali risultino assoggettate a scambi di calore.

Pertanto, possiamo pensare di applicare il recuperatore perfetto al ciclo di Ericsson ideale.

Se quindi immaginiamo di eseguire anche le isoterme del ciclo in

modo reversibile, tutto il ciclo può essere composto di trasformazioni reversibili ed abbiamo, con ciò, dimostrato la prima parte.

Seconda parte della dimostrazione

Bisogna osservare che per il ciclo di Ericsson i tre criteri di CARNOT sul massimo rendimento non sono tra loro equivalenti, come accade per il ciclo di CARNOT.

Infatti, se consideriamo quanto è stato detto nella Premessa, il primo criterio sarebbe applicabile al ciclo di Ericsson con recuperatore solo se si allargasse il suo significato fino a comprendere anche variazioni di volume causate da variazioni di temperatura.

Questa estensione non sembra di poco conto poiché equivale a scambiare la causa con l'effetto.

Pertanto conviene osservare subito che questo criterio, così allargato, se fosse applicabile, dovrebbe essere enunciato come segue:

“Si ha il massimo rendimento quando in un ciclo non esiste nessuna variazione di temperatura che non sia causata da un cambiamento di volume e nessuna variazione di volume che non sia causata da un cambiamento di temperatura.”

Tuttavia è chiaro che la seconda parte, da noi aggiunta, non è applicabile alle isoterme poiché in esse il volume cambia senza che la temperatura cambi.

Pertanto, il primo criterio nella sua versione originale non è applicabile alle isobare.

Nella versione da noi modificata, il primo criterio non è applicabile alle isoterme, quindi esso non può essere un criterio generale e deve essere scartato.

Il criterio enunciato da CARNOT è valido per tutte le trasformazioni

del ciclo di CARNOT, ma tale ciclo non comprende trasformazioni isobare; non era quindi possibile cogliere la particolarità di tale criterio restando nell'ambito del solo ciclo di CARNOT.

Il secondo criterio, invece, sembra essere soddisfatto in ogni parte del ciclo di Ericsson, dato che corpi a temperatura sensibilmente diversa non vengono a contatto tra di loro.

Infatti le isoterme sono supposte già reversibili, per cui non vi sono in esse differenze finite di temperatura, mentre, come si è dimostrato, le isobare sono reversibili poiché esse sono attuate mediante un recuperatore perfetto di calore.

Anche il terzo criterio sembra essere sempre soddisfatto, poiché tutto il calore viene assorbito nell'isoterma superiore e rigettato nella isoterma inferiore. Quindi dei tre criteri di CARNOT, due soltanto restano, per ora, utilizzabili.

Definendo sempre il rendimento come rapporto tra lavoro utile e calore entrante, notiamo chela quantità di lavoro che il ciclo può eseguire non cambia anche se viene a mancare il recuperatore di calore.

Questo risultato si ottiene se nelle due sorgenti principali sono presenti degli scambiatori perfetti, dato che ciò assicura l'uniformità della pressione anche se le isobare sono irreversibili.

Quindi nel calcolo del rendimento il numeratore è fisso.

Se poi, a causa della presenza del recuperatore perfetto per isobare, vengono a mancare i motivi per un possibile spreco del calore assorbito alla temperatura maggiore, allora il rapporto tra lavoro prodotto e calore assorbito potrebbe avere anche un valore massimo, come volevasi dimostrare.

OSSERVAZIONE:

Se il gas reale presenta più di uno di questi casi tra due date

temperature, allora in ognuno di essi sarà verificata la condizione suddetta la quale consentirebbe il massimo rendimento, ma dal suddetto teorema nulla si deduce circa l'effettivo raggiungimento di un massimo assoluto.

Infatti non è possibile escludere che in zone diverse del piano P, v , pur tra due stesse temperature, vi possa essere un diverso rapporto tra lavoro prodotto e calore assorbito alla temperatura più alta.

Questa esclusione si può ottenere con ragionamenti non costruttivi, basati sulla negazione del moto perpetuo di seconda specie - ragionamenti che però noi rigettiamo.

Pertanto, tenendo conto di questi concetti, potremmo dire che gli argomenti di CARNOT relativi ai criteri di massimo rendimento sono condizioni necessarie per un massimo di rendimento, ma non sono sufficienti a garantire che detto massimo sia il massimo assoluto.

10.8 COROLLARIO CE-1

NELLE CONDIZIONI INDICATE NELLA TESI DEL LEMMA LE-1, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE REVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE:

Con il Corollario CLE-1 si è dimostrato che, nelle condizioni di cui al Lemma LE-1, le due sorgenti di calore principali sono soggette a scambi nulli di calore.

Nel Teorema TE-1 il recuperatore perfetto di calore è stato utilizzato in un ciclo ideale di Ericsson per il quale le due isoterme scambiano calore in modo reversibile con le rispettive sorgenti principali.

Dato che il recuperatore perfetto di calore nel suo funzionamento scambia quantità di calore nulle con le due sorgenti principali, ne consegue che le due sorgenti principali scambiano calore soltanto

con le due isoterme del ciclo di Ericsson, le quali sono reversibili per ipotesi, e ciò dimostra il Corollario.

10.9 TEOREMA TE-2

PER IL CICLO DI ERICSSON CON ISOBARE DI DIVERSO CALORE

TESI:

Se in un ciclo di Ericsson ideale che utilizza un gas reale, le quantità di calore delle due trasformazioni isobare sono diverse, il ciclo è irreversibile ma, attraverso l'uso di un recuperatore di calore perfetto per le isobare, è possibile annullare sempre ogni quantità residua di calore che l'isobara di minor calore tenderebbe a scambiare con una delle sorgenti principali, e tutta la differenza di calore viene posta a carico della sorgente verso cui è diretto il fluido dell'isobara di maggior calore. Inoltre il ciclo non rispetta i criteri di massimo rendimento di CARNOT.

DIMOSTRAZIONE:

Prima e seconda parte della dimostrazione

La dimostrazione del presente teorema ricalca lo schema della precedente, per cui assumeremo le stesse convenzioni facendo anche riferimento alla Fig. 10.8-a, in cui il ciclo è percorso in senso orario (ciclo motore) e alla Fig. 10.8-b, in cui il ciclo è anti-orario (ciclo frigorifero).

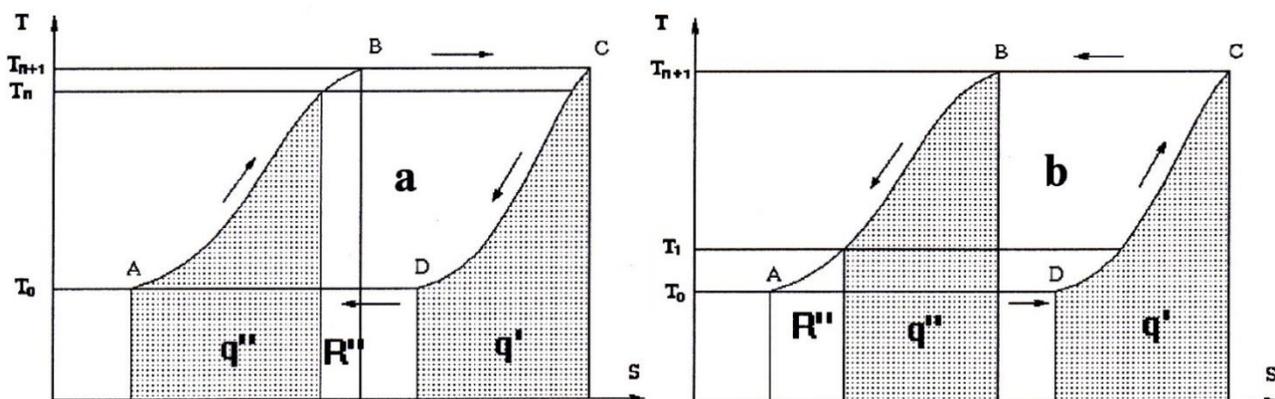


Fig. 10.8-a e Fig. 10.8-b Isobare non bilanciate

Relativamente alla Fig. 10.8-a, sommando membro a membro la (1.7) e la (1.8) relative al LEMMA LE-1, si aveva la (1.9).

Se ora Q'' è diverso da Q' , la somma della (1.7) e (1.8) è diversa da zero (essendo sempre $q'' + q' = 0$), per cui:

$$R'' + R' = Q'' + Q' \neq 0$$

Supponiamo ora che il valore assoluto di Q'' sia maggiore di Q' .

Se il verso di percorrenza delle isobare è come quello indicato in Fig. 10.8-a, allora Q'' è positivo mentre Q' è negativo, per cui:

$$R'' + R' > 0$$

In questo caso, la condizione $q'' = -q'$ può essere mantenuta comunque T_1 sia vicino a T_0 per cui R' tende a zero.

Pertanto, R'' tende ad un valore positivo e quindi la relativa quantità di calore sarà a carico della sorgente più calda, T_{n+1} .

Invertendo la trasformazione, come in Fig. 10.8-b, si invertono tutti i segni ma le quantità di calore non cambiano, perciò:

$$R'' + R' < 0$$

In questo caso, iniziando la costruzione a partire da una temperatura T_n , vicina a T_{n+1} e procedendo verso temperature minori, si ottiene un risultato simile nel senso che la condizione $q'' = -q'$ può essere mantenuta comunque T_n sia vicino a T_{n+1} .

Ciò significa che il resto R' tenderà ancora a zero ma R'' tenderà ad

un valore negativo che sarà, quindi, a carico della sorgente più fredda T_o .

Abbiamo, con ciò, dimostrato che la quantità di calore minore Q' è compensabile nei due casi possibili.

Se invece si ipotizza che il valore assoluto di Q'' sia minore di quello di Q' , tutti i ragionamenti di cui sopra si potranno invertire, con analoghe, ma inverse, conclusioni. Resta così dimostrata la prima parte del teorema.

Terza parte della dimostrazione

Da quanto sopra detto, in questo tipo di ciclo si verifica una irreversibilità di tipo particolare.

Essa è determinata dal fatto che, pur disponendo di un recuperatore perfetto, non è possibile compensare tra di loro quantità di calore diverse.

Sebbene la quantità di calore R'' sia inefficace dal punto di vista della produzione del lavoro, essa non deriva da imperfezioni dei dispositivi, ma dipende esclusivamente dalle proprietà del gas lungo il ciclo stesso.

Allorché il recuperatore non fosse perfetto, R'' aumenterebbe ma, al contempo, si verificherebbe un analogo fenomeno anche nell'altra sorgente estrema poiché la somma algebrica delle due quantità di calore non può cambiare.

Notiamo, incidentalmente, che un recuperatore imperfetto potrebbe essere semplicemente un recuperatore con un numero finito di stadi. Quindi se il ciclo è motore, R'' non rappresenta una perdita ma solo la minima quantità di calore che è necessario far scambiare alla sorgente T_{n+1} (oltre a quella che è di pertinenza della relativa isoterma) per poter chiudere il ciclo secondo quelle che sono le proprietà del gas stesso.

Pertanto, in questo caso viene a mancare il secondo dei criteri di massimo rendimento di CARNOT, poiché corpi a temperatura diversa vengono in contatto tra di loro, ma tale “imperfezione” è inevitabile poiché non è imputabile ad imperfezioni costruttive.

Avendo già stabilito in precedenza che il primo criterio di CARNOT non è applicabile, consideriamo il terzo.

Il terzo criterio è ancora verificato, poiché si è visto che il recuperatore è in grado di neutralizzare il calore scambiato da “tutte” le sorgenti intermedie, anche quando le due quantità di calore delle isobare sono diverse. Infatti in questo caso tutta la differenza di calore può essere posta a carico di una sola sorgente terminale.

Dal momento che nel ciclo mancano conduzioni inutili di calore tra le parti interne della macchina, ne segue, ovviamente, che tutto il calore sarà assorbito alla temperatura più alta e rigettato alla temperatura più bassa, ma in modo non reversibile.

Perciò, almeno nelle condizioni ideali in cui ci siamo posti, il terzo criterio, essendo sempre verificato, perde il valore generale assegnatogli da CARNOT.

Questo ragionamento dimostra che dei tre criteri di CARNOT (per avere il massimo rendimento) solo il secondo resta valido.

Dato che nel nostro caso il (secondo) criterio di CARNOT, relativo alla condizione di massimo rendimento, non è rispettato, possiamo concludere che il ciclo di cui alla tesi non si trova nelle condizioni idonee a garantire il rispetto dei criteri di CARNOT per il massimo rendimento, come volevasi dimostrare.

10.10 COROLLARIO CE-2

Nelle condizioni della Tesi del TEOREMA TE-2, la sorgente verso la quale è diretto il flusso isobaro di maggior calore subisce scambi di calore irreversibili.

DIMOSTRAZIONE

Nel primo caso, il resto R'' non è infinitesimo, e quindi la sorgente T_0 scambia calore con un corpo avente una differenza finita di temperatura rispetto ad essa, e tale tipo di scambio di calore è definito irreversibile.

Nel secondo caso, il resto R' non è infinitesimo, e quindi la sorgente T_{n+1} scambia calore in modo definito irreversibile.

10.11 TEOREMA TE-3

SU COMBINAZIONI DI CICLI DI ERICSSON CON ISOBARE COMPENSABILI TRA LORO

TESI:

Per una combinazione di un numero qualsiasi di cicli di Ericsson ideali che impiegano uno stesso gas reale, funzionanti tra due date sorgenti estreme a temperature diverse, in cui la somma algebrica delle quantità di calore di tutte le isobare è nulla, esiste una distribuzione di temperature per infinite sorgenti intermedie tra quelle date, tale da rendere reversibile l'insieme delle isobare, se esse attraversano un'unica serie di sorgenti con detta distribuzione di temperatura.

La combinazione di tali cicli può essere attuata in modo reversibile con un recuperatore di calore perfetto comune per tutte le isobare, e rispetta il criterio di massimo rendimento di CARNOT.

DIMOSTRAZIONE:

Il caso che si prospetta è quello illustrato schematicamente nella seguente Figura 10.9, in cui sono compresi solo due cicli di Ericsson, poiché l'estensione ad un numero maggiore di cicli è ovvia. Si noti che M sta per “motore” e C sta per “compressore”.

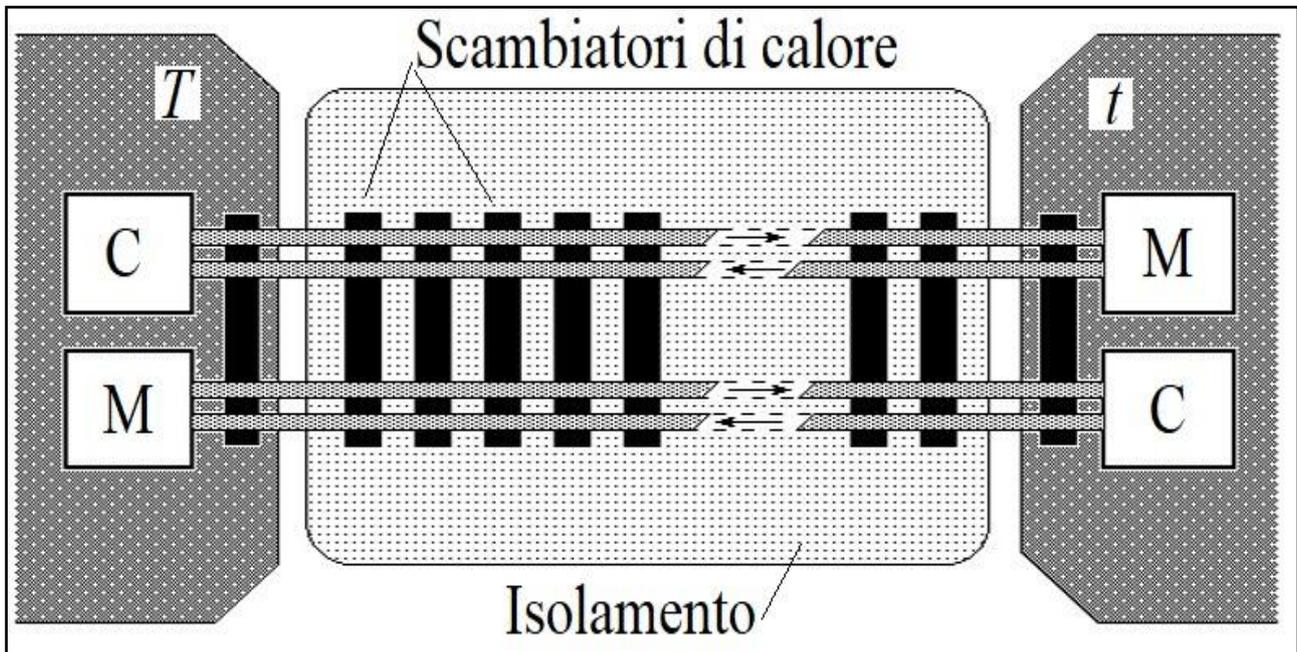


Fig. 10.9

Come si vede in Fig. 10.9, ogni stadio di termalizzazione è attraversato da tutti i flussi isobari.

La dimostrazione del teorema può essere ottenuta combinando insieme le tecniche di dimostrazione del LEMMA LE-1 e del TEOREMA TE-1, mostrando che le infinite sorgenti intermedie possono essere tutte neutralizzate e possono essere annullate le quantità di calore residue che sarebbero a carico delle due sorgenti principali.

Nella seguente Figura 10.10 sono illustrati i diagrammi di quattro funzioni monotone crescenti $T(S)$, ognuna delle quali relativa ad una isobara, esse fanno parte di due cicli di Ericsson, **E1** e **E2**. Questi cicli potrebbero essere sia concordi che contrapposti, ma nella Fig. 10.10 essi sono contrapposti.

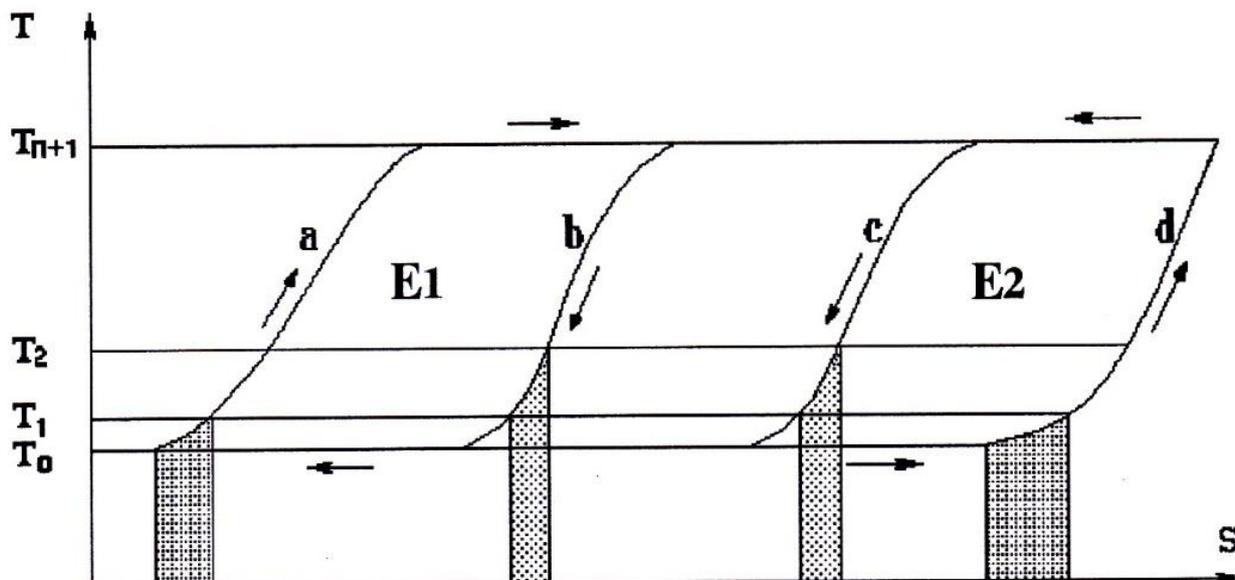


Fig. 10.10 Combinazione di due cicli di Ericsson

Nella figura è ipotizzato l'uso di una prima sorgente intermedia ausiliaria a temperatura T_1 , scelta arbitrariamente tra i valori estremi T_0 e T_{n+1} , in cui T_0 è più freddo di T_{n+1} .

La scelta di T_1 determina, a sua volta, un unico valore di T_2 per il quale il bilancio del calore di T_1 si annulla.

I due flussi **a** e **d**, dato che provengono da una zona a minore temperatura, tenderebbero a sottrarre a detta sorgente T_1 la quantità di calore $Q_{1a} + Q_{1d}$.

Per neutralizzare questo assorbimento di calore utilizzando il calore degli altri due rami isobari **b** e **c**, si può pensare di introdurre una seconda sorgente intermedia a temperatura $T_2 > T_1$, tale che la quantità di calore $Q_{1b} + Q_{1c}$ che viene così individuata e ceduta a T_1 sia uguale ed opposta alla somma precedente, in modo tale che sia verificata la seguente uguaglianza:

$$Q_{1a} + Q_{1b} + Q_{1c} + Q_{1d} = 0$$

Ciò sarà sempre possibile in base al fatto che le quattro funzioni $T(S)$ sono monotone crescenti se il fluido è sempre allo stato gassoso.

Pertanto è possibile iterare il procedimento aumentando il numero delle sorgenti intermedie fino a compensare quasi completamente le

quattro quantità di calore.

Avendo però scelto la temperatura T_1 in modo arbitrario, si otterrà un determinato numero massimo di sorgenti intermedie ma, in generale, non sarà possibile ottenere una esatta compensazione anche del calore scambiato dall'ultima sorgente intermedia più calda.

Tuttavia, **poiché le funzioni $T(S)$ sono continue e monotone**, esiste certamente un intervallo di temperature intorno T_1 entro il quale è possibile trovare una distribuzione di temperature tale da compensare esattamente anche dell'ultima sorgente intermedia più calda.

Poiché però è possibile scegliere T_1 arbitrariamente vicina a T_o , ne segue che man mano che T_1 si avvicina a T_o , il numero intero N , che rappresenta il numero delle risultanti sorgenti intermedie, “tutte compensate”, può crescere oltre ogni limite.

È quindi possibile ridurre a valori infinitesimi la differenza di temperatura la sorgente principale T_1 e la sorgente intermedia più vicina, mantenendo compensato il bilancio di calore di ogni sorgente ausiliaria intermedia.

Pertanto, rispetto al TEOREMA TE-1, che coinvolgeva solo due flussi isobari, nulla è concettualmente cambiato, per cui possiamo introdurre le stesse convenzioni ivi usate e considerare le quantità di calore Q di ogni isobara come divise in due parti: una parte compensata, che indicheremo sempre con q , e una parte non compensata, che indicheremo con R .

Utilizzando gli indici a, b, c, d per designare le grandezze relative alle rispettive isobare con gli stessi indici, potremo scrivere:

$$q_a + R_a = Q_a$$

$$R_b + q_b = Q_b$$

$$R_c + q_c = Q_c$$

$$q_d + R_d = Q_d$$

Sommando, membro a membro, le quattro relazioni e ricordando che la somma algebrica delle quattro quantità di calore delle isobare è nulla e che le parti compensate hanno anche una somma algebrica nulla, abbiamo:

$$R_a + R_b + R_c + R_d = 0$$

Se il numero N delle sorgenti intermedie viene aumentato oltre ogni limite, si può ottenere che T_1 sia diverso da T_0 di una quantità piccola a piacere, per cui la somma dei resti R_b e R_c può tendere a zero, e quindi, in base alla precedente relazione, anche l'altra somma dei resti R_a e R_d può tendere a zero.

Dal momento che il precedente ragionamento può essere ripetuto anche se il verso di percorrenza dei due cicli viene invertito, risulta dimostrato che il sistema descritto è reversibile, dato che in entrambi i versi di percorrenza le due sorgenti principali scambiano calore con corpi aventi differenze di temperatura infinitesimali rispetto ad esse.

Inoltre, dato che tutte le sorgenti intermedie hanno un bilancio di calore nullo, esse sono superflue e possono essere eliminate lasciando al loro posto gli scambiatori di calore.

Poiché detti scambiatori di calore possono essere perfettamente isolati tra di loro e verso l'ambiente esterno, il relativo insieme costituisce un recuperatore perfetto di calore per le isobare, secondo la nostra definizione.

Resta così dimostrata la prima parte del teorema.

La seconda parte si dimostra constatando che se le isoterme sono tutte ideali, allora i due cicli di Ericsson così ottenuti verificano il (secondo) criterio di massimo rendimento di CARNOT, poiché mai parti a temperatura diversa vengono in contatto tra di loro.

Quindi, se l'insieme producesse lavoro, lo potrebbe produrre in

condizioni di massimo rendimento.

OSSERVAZIONE

Se i due cicli di Ericsson sono attuati con due separati recuperatori perfetti di calore, come è illustrato nella seguente Figura 10.11, non è più possibile dimostrare la tesi di questo teorema in modo generale.

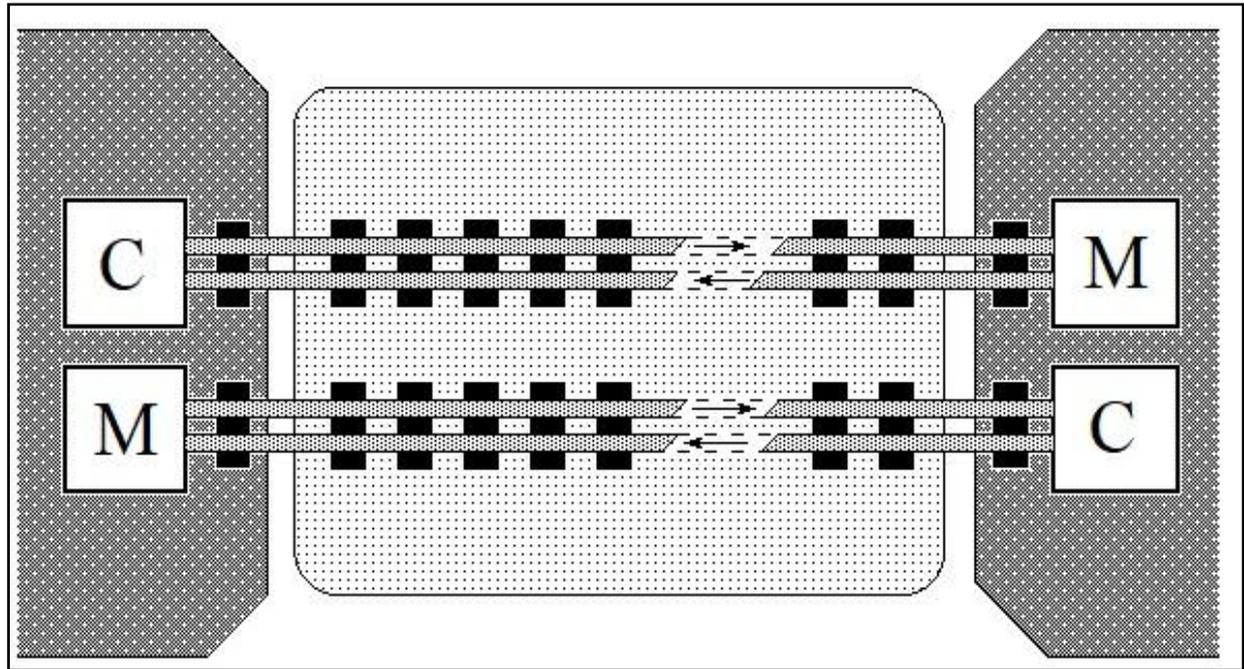


Fig. 10.11

Infatti, per ogni coppia di isobare si dovrebbe trovare un insieme di temperature tali da compensare totalmente le due quantità di calore.

Ma l'insieme di temperature necessario per un ciclo sarebbe generalmente diverso da quello dell'altro ciclo.

Ognuno di essi, quindi, darebbe luogo ad un resto di calore a carico di una o dell'altra sorgente - resti di entità finita e quindi non compensabili, in generale, tra di loro.

10.12 COROLLARIO CE-3

NELLE CONDIZIONI SPECIFICATE NELLA TESI DEL TEOREMA TE- 3, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE REVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE

In entrambe le direzioni di funzionamento dei cicli di Ericsson, le due sorgenti principali di calore scambiano quantità nulle di calore con il recuperatore perfetto di calore mentre esse scambiano calore in modo reversibile con le isoterme dei cicli di Ericsson.

10.13 TEOREMA TE-4

SU COMBINAZIONI DI CICLI DI ERICSSON CON ISOBARE NON COMPENSABILI

TESI:

In una combinazione di un numero qualsiasi di cicli di Ericsson che impiegano uno stesso gas reale tra due sorgenti estreme a temperature diverse, in cui la somma algebrica delle quantità di calore delle isobare non è nulla, una quantità di calore pari a questa somma algebrica viene prelevata irreversibilmente dalla sorgente più calda se tale somma è positiva, o viene ceduta irreversibilmente alla sorgente più fredda se tale somma è negativa, anche nel caso in cui viene impiegato un recuperatore di calore perfetto comune a tutte le isobare.

DIMOSTRAZIONE:

Con riferimento alla precedente Figura 10.10 e alle notazioni del TEOREMA TE-3 precedente, possiamo in esso introdurre gli stessi ragionamenti che avevano consentito la dimostrazione del TEOREMA TE-2.

Poniamo, infatti, che la somma algebrica delle quantità di calore delle isobare, che potremmo chiamare ΣQ , non sia nulla. In questo caso, la somma delle quantità di calore delle isobare che avevamo considerato nel precedente TEOREMA TE-3 darà luogo a:

$$R_a + R_b + R_c + R_d = \Sigma Q \neq 0$$

Supponiamo ora che l'insieme delle quantità di calore delle due isobare concordi **a** e **d** sia maggiore della quantità di calore delle altre due isobare concordi **b** e **c**.

Allora la somma R_a+R_d sarà positiva, mentre l'altra somma R_b+R_c sarà negativa, in virtù della convenzione sui segni delle quantità di calore.

In questo caso, la condizione

$$q_a+q_b+q_c+q_d = 0$$

può essere mantenuta comunque T_1 sia vicino a T_o .

Pertanto, R_b+R_c può tendere a zero cosicché R_a+R_d tende a un valore positivo pari proprio a ΣQ .

Questa quantità di calore viene quindi prelevata dalla sorgente più calda.

Invertendo il verso di percorrenza dei due cicli, si invertono tutti i segni ma le quantità di calore non cambiano, per cui ΣQ diventa negativo. In questo caso si ottiene un risultato simile, nel senso che la condizione

$$q_a + q_b + q_c + q_d = 0$$

può essere mantenuta, comunque T_n sia vicino a T_{n+1} .

Ciò significa che anche in questo caso R_b+R_c tende a zero, per cui R_a+R_d tende al valore negativo ΣQ .

Questa quantità di calore verrà ceduta alla sorgente più fredda.

Se invece si ipotizza che R_a+R_d sia minore di R_b+R_c , tutti i ragionamenti di cui sopra si potranno ripetere con analoghe ma inverse conclusioni.

Per quanto riguarda le modalità con cui queste quantità di calore residue vengono scambiate con le sorgenti, possiamo dire che se vi sono delle eccedenze di calore, esse derivano dal bilancio di calore

di un'ultima sorgente intermedia.

Dato però che tutte le sorgenti intermedie possono essere sempre compensate, ciò implica che detti resti derivano da differenze di valori non infinitesimali e quindi quell'ultima sorgente intermedia deve avere una differenza finita di temperatura rispetto alla sorgente principale attigua.

Pertanto le quantità di calore residue scambiate con le sorgenti principali devono essere in ogni caso irreversibili.

10.14 COROLLARIO CE-4

Nelle condizioni della Tesi del TEOREMA TE-4, la sorgente verso la quale è diretto il flusso isobaro di maggior calore subisce scambi di calore irreversibili.

DIMOSTRAZIONE

La dimostrazione di questo corollario è identica a quella del Corollario CE-2.

10.15 LEMMA LS-1

SUL RECUPERATORE PERFETTO PER UNA COPPIA DI ISOCORE DI EGUAL CALORE

TESI:

Se in un fluido reale allo stato gassoso due diverse ma contrapposte isocore, aventi uguali temperature iniziali e finali, richiedono uguali quantità di calore per unità di massa, allora esiste una funzione di distribuzione della temperatura di infinite sorgenti intermedie che rende nullo il bilancio di calore di ognuna di tali sorgenti.

In tali condizioni, le due contrapposte trasformazioni sono reversibili e possono essere attuate tramite un recuperatore perfetto di calore per le isocore.

DIMOSTRAZIONE:

Il sistema fisico a cui ci si riferisce è costituito da due sorgenti principali di calore a temperature diverse, e da una serie di sorgenti ausiliarie a temperature intermedie con differenze infinitesime tra adiacenti.

Poi vi sono due condotte all'interno delle quali dei contenitori aventi massa trascurabile contengono un fluido reale.

Ogni condotta trasporta, con moto stazionario e ad una velocità arbitrariamente bassa, tali contenitori attraverso tutte le sorgenti. Una delle condotte consente il trasporto dei contenitori dalla sorgente più fredda a quella più calda, mentre l'altra condotta lo consente nella direzione opposta.

I contenitori appartenenti alle due opposte sezioni hanno volumi diversi, ma le due sezioni delle condutture sono attraversate (in opposte direzioni) da identiche quantità di massa del fluido per unità di tempo.

Infine, il contatto termico tra le varie sorgenti intermedie e i due flussi di contenitori è assicurato dalla presenza di scambiatori ideali di calore.

Tutto ciò è rappresentato graficamente nella seguente Figura 10.12.

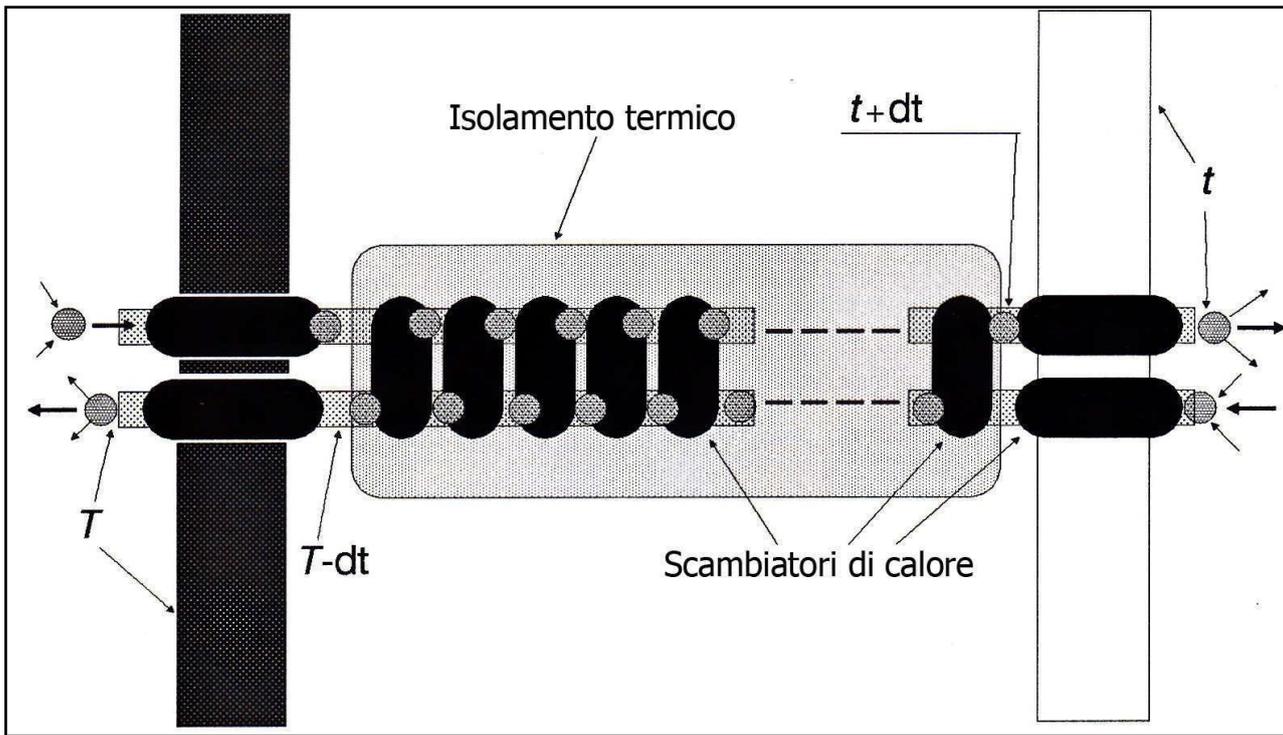


Fig. 10.12

I mezzi tecnici che consentono al fluido di muoversi non interessano in questo teorema, essi sono dispositivi meccanici esterni al sistema considerato, il cui unico compito è quello di mantenere stazionario il moto.

Le caratteristiche intrinseche del sistema così concepito consentono di trasportare da una sorgente all'altra, in modo contrapposto, uguali masse del fluido reale per unità di tempo, sottoponendole a progressivi cambiamenti di temperatura a volume costante.

Ciò premesso, se il fluido è allo stato gassoso in ogni fase del percorso, allora la sua temperatura è sempre maggiore di quella critica T_c , cioè:

$$T > T_c$$

In base alla definizione di calore specifico, è possibile esprimere il calore specifico a volume costante C_v di una qualsiasi sostanza con la relazione differenziale:

$$C_v = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_v$$

Inoltre, utilizzando la funzione di stato entropia, si può anche porre la relazione precedente sotto la nota forma:

$$C_v = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v \quad \text{eq. 2.1}$$

la quale consente di ottenere:

$$\frac{C_v}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v \quad \text{eq. 2.2}$$

Dalle proprietà termodinamiche delle sostanze è noto che se $T > T_c$, allora C_v è un numero sicuramente finito positivo, cioè:

$$0 < C_v < \infty$$

Nella (2.2), pertanto, il primo membro è costituito dal rapporto di due grandezze positive (C_v e T), in cui il denominatore non si annulla mai e quindi sarà anche:

$$0 < \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v < \infty \quad \text{eq. 2.3}$$

Se la derivata parziale a volume costante della funzione $S(T)$ è sempre positiva, ne deduciamo che **la funzione $S(T)$, relativa ad una isocora, deve essere una funzione monotona crescente** (al crescere di T , anche S cresce), e quindi anche la funzione inversa $T(S)$ deve essere monotona per una isocora.

Consideriamo per ora il caso generico in cui il fluido debba essere fatto passare da una temperatura inferiore T_o ad una superiore T_{n+1} in modo isocoro e reversibile.

Con riferimento alla seguente Figura 10.13, consideriamo la quantità di calore che è necessaria per elevare, in modo reversibile e a volume costante, la temperatura del fluido di volume maggiore (V')

dalla temperatura della sorgente fredda T_0 alla temperatura di quella calda T_{n+1} .

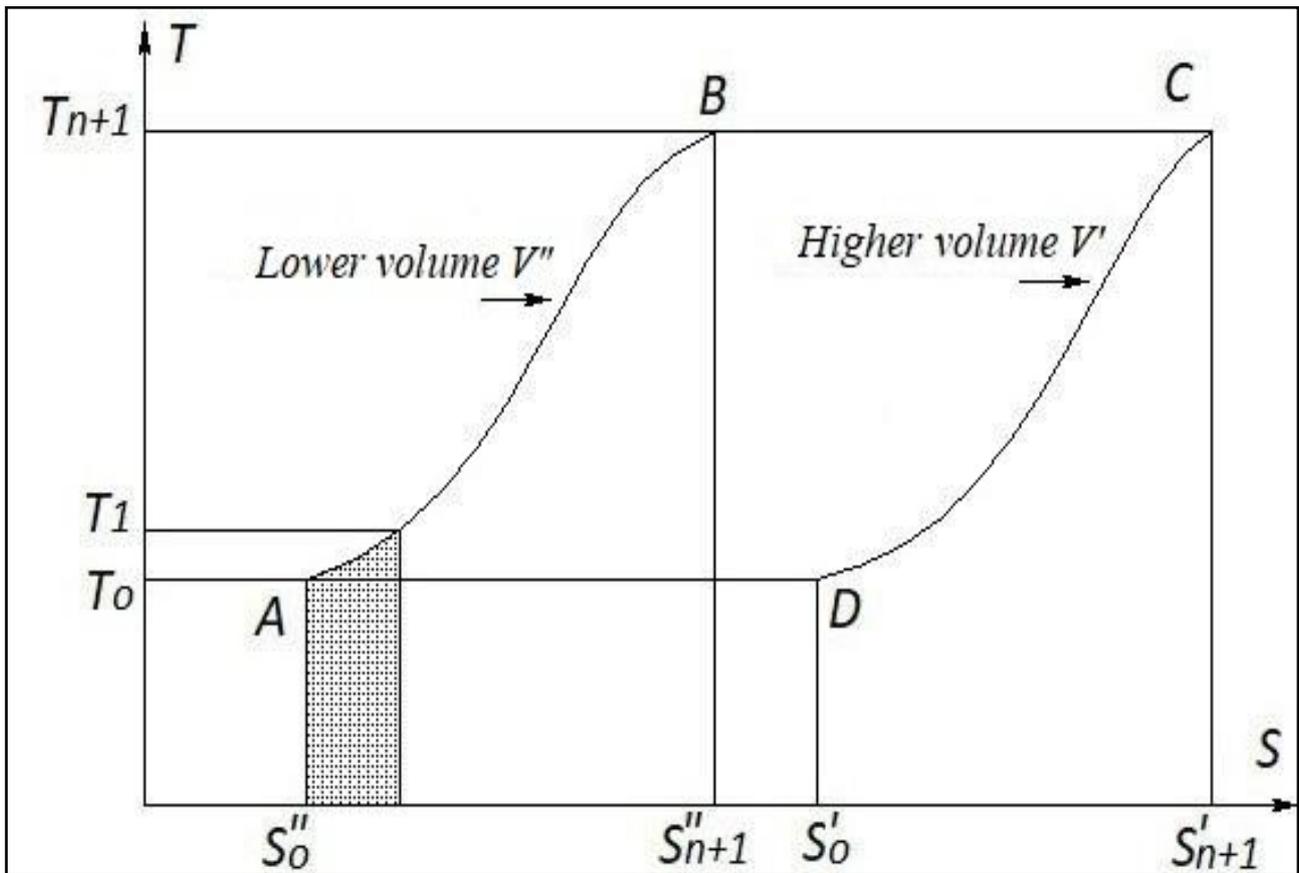


Fig. 10.13

Chiamando con Q' questa quantità di calore ed indicando con $T'(S)$ la funzione che lega la temperatura e l'entropia al volume V' , possiamo scrivere:

$$Q'_v = \int_{S_0'}^{S_{n+1}'} T'(S) dS$$

Il fatto che detta quantità di calore sia esprimibile tramite l'entropia, grandezza fisica che è legata al secondo principio della termodinamica, in nessun modo implica che detta quantità di calore scaturisca da tale principio.

Infatti la quantità di calore suddetta è esprimibile anche nei seguenti modi, tra loro equivalenti, tutti derivanti dal primo principio della termodinamica, cioè:

$$2) Q'_p = L' + \Delta U' = \Delta U'$$

dato che $L' = 0$, ed anche:

$$3) \quad Q'_v = \int_{T_o}^{T_{n+1}} C'_v dT$$

Per motivi di opportunità, noi sceglieremo di dimostrare il presente teorema utilizzando la prima di queste tre diverse forme, sebbene sia possibile giungere alle medesime conclusioni, cui giungeremo, mediante le altre espressioni.

Per quanto è già noto, la quantità di calore di cui sopra è indipendente dalla circostanza che la trasformazione sia reversibile o irreversibile, purché il volume sia costante.

Il segno algebrico dell'integrale dipende dal verso di percorrenza dell'isocora.

Per l'isocora a volume minore (V'') varrà una analoga relazione con analoghe modalità:

$$Q''_v = \int_{S''_o}^{S''_{n+1}} T''(S) dS$$

Nella precedente Figura 10.5 sono mostrate le due funzioni $T(S)$, dove la quantità di calore Q''_v , corrisponde all'area sottesa dalla curva A-B fino all'asse delle ascisse, invece Q'_v corrisponde all'area sottesa dalla curva D-C fino all'asse delle ascisse, tra gli estremi di entropia dati. Questa interpretazione geometrica consente una più facile dimostrazione del teorema.

Consideriamo ora il caso in cui questi flussi isocori abbiano versi opposti, come avviene in un ciclo di Stirling.

Supponiamo poi di utilizzare uno scambiatore di calore perfetto nella prima isocora per realizzare un contatto termico tra il gas e una sorgente avente temperatura intermedia tra T_o e T_{n+1} . Sia T_1 questa temperatura che, per motivo di opportunità, sceglieremo vicina a T_o , come mostrato nella precedente Figura 10.13.

Il fluido con il volume V'' proviene dalla sorgente fredda T_o e, entrando in contatto con lo scambiatore di calore, a sua volta in contatto con T_1 , assorbirebbe da questa sorgente intermedia una quantità di calore. Questo passaggio di calore, dato che avverrebbe con differenze di temperatura finite, è definito “irreversibile”.

Chiamando con $Q''(T_1)$ questa quantità di calore, potremo esprimerla come:

$$Q''_{T_1} = \int_{s''_o}^{s''_1} T''(S) dS$$

Nella Figura 10.13 di cui sopra, la quantità di calore suddetta è rappresentata dall'area ombreggiata.

Se vogliamo neutralizzare lo scambio di calore di questa sorgente intermedia T_1 , possiamo utilizzare una parte del calore dell'altro ramo di isocora a volume maggiore V' .

Per fare ciò, dobbiamo porre il flusso a volume maggiore V' in contatto termico con lo scambiatore di calore precedente, e introdurre nel sistema un secondo scambiatore di calore che sia in contatto, a sua volta, con un'altra sorgente la cui temperatura sia tale da produrre, nella precedente sorgente, una cessione di calore di valore assoluto pari al primo assorbimento.

In questo modo, le due quantità di calore che sono a carico della sorgente T_1 possano compensarsi tra di loro.

Per ottenere ciò, non basta trovare nella isocora maggiore V' una corrispondente quantità di calore, ma è necessario che essa debba provenire da una temperatura superiore a T_1 . Poiché, però, **le due funzioni sono monotone crescenti**, dato un valore di entropia S , a cui corrisponde un valore di T , è sempre possibile determinare, per ognuna delle due funzioni, un intorno di S in cui ad ogni valore di $S' > S$ corrisponda un valore di $T' > T$. Questo concetto è chiarito nella seguente Figura 10.14.

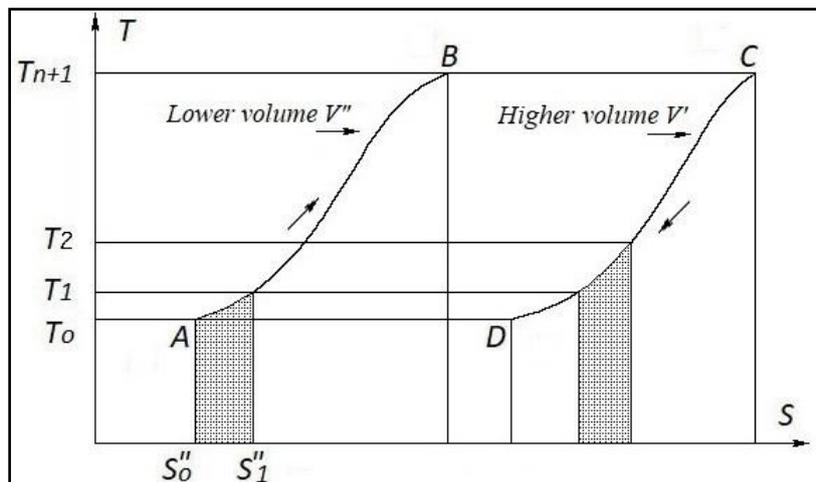


Figura 10.14

Resta quindi stabilito che il predetto annullamento è sempre possibile, nelle condizioni specificate.

Questo procedimento può essere ripetuto, aggiungendo, via via, altre sorgenti ed altri scambiatori fino a coprire quasi completamente le due trasformazioni isocore.

Possiamo rappresentare nella seguente Figura 10.15 questa situazione intermedia, in cui si è limitato, per motivi di semplicità, il numero delle sorgenti intermedie a cinque.

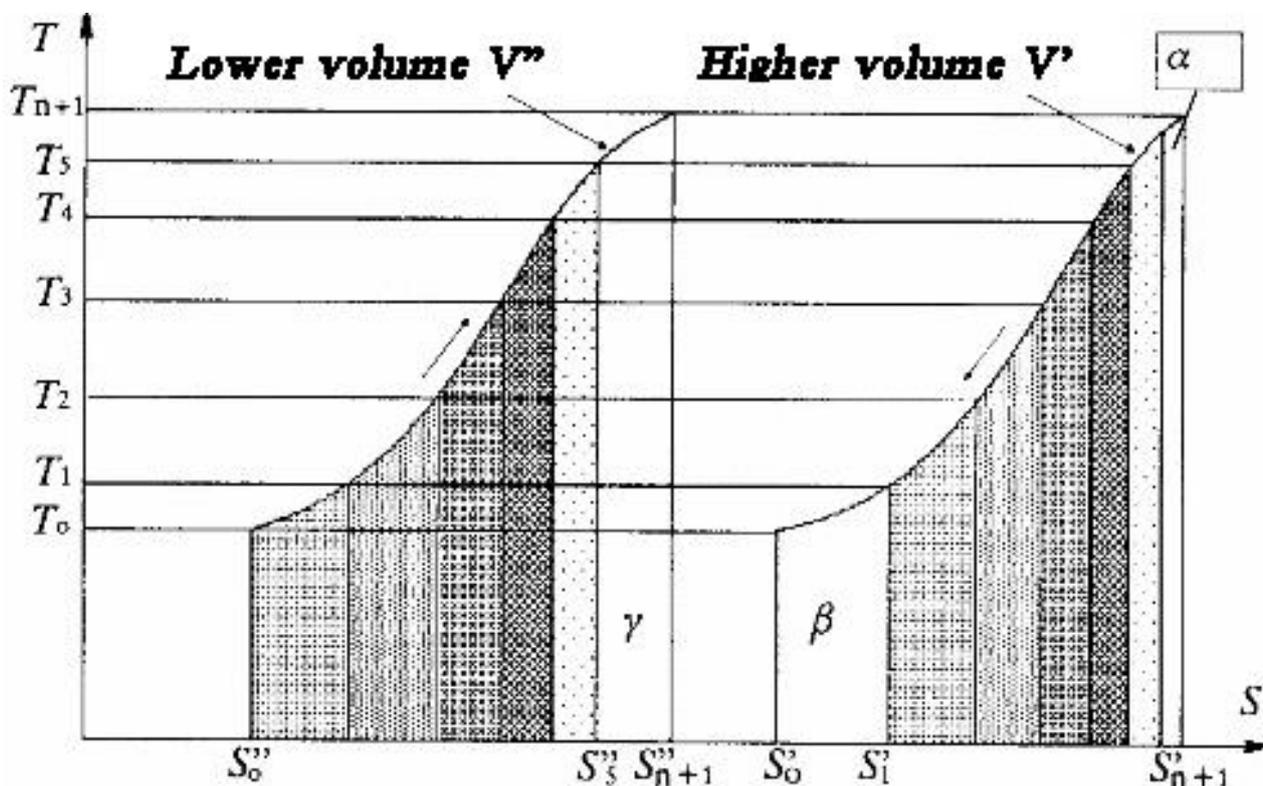


Fig. 10.15

Come si vede, avendo scelto T_1 in modo arbitrario, si otterrà alla fine un tale valore di temperatura T_5 che non consentirà la compensazione esatta di quest'ultima sorgente intermedia.

Tuttavia, **poiché le funzioni $T(S)$ sono continue e monotone, sarà sempre possibile scegliere opportunamente il valore di T_1 in modo tale da compensare anche l'ultima sorgente intermedia.**

Nella Figura 10.15 tale condizione corrisponde all'annullamento dell'area α .

In generale, dato un numero N qualsiasi di sorgenti intermedie, sarà sempre possibile trovare un corrispondente insieme di valori delle rispettive temperature tale da annullare il bilancio di calore di ciascuna di queste sorgenti intermedie.

Questo insieme di valori di temperatura potremmo chiamarlo come l'insieme degli auto-valori, o soluzioni del problema della ripartizione esatta delle due quantità di calore tra N stadi di termalizzazione.

Se tutte le sorgenti intermedie possono essere neutralizzate, resta il problema di determinare il comportamento delle due quantità di calore residue (le aree γ e β in Fig. 10.15) che sono a carico delle due sorgenti principali quando il numero N degli stadi diverge.

Il bilancio della isocora a volume minore V'' può essere diviso in due parti. Una prima parte comprende tutti gli scambi tra T_o e T_n , che è sempre compensata da una corrispondente quantità di calore proveniente dall'altra isocora, ed una seconda parte, cioè il resto non compensato, che è a carico della sorgente principale T_{n+1} . In formula:

$$Q_v'' = \int_{S_o''}^{S_n''} T''(S) dS + \int_{S_n''}^{S_{n+1}''} T''(S) dS = \int_{S_o''}^{S_{n+1}''} T''(S) dS \quad eq.2.4$$

Analogamente, il bilancio della isocora V' può essere diviso in un resto non compensato, a carico di T_o , ed una seconda parte compensata, già citata, cioè:

$$Q'_v = \int_{s'_1}^{s'_o} T'(S) dS + \int_{s'_{n+1}}^{s'_1} T'(S) dS = \int_{s'_{n+1}}^{s'_o} T'(S) dS \quad \text{eq.2.5}$$

In cui l'inversione degli estremi di integrazione tiene conto del cambiamento di segno dovuto al verso opposto della trasformazione rispetto alla prima (nella precedente Figura 10.15 il verso di rotazione delle isocore è quello di un ciclo di Stirling usato come motore).

Per semplificare la scrittura conveniamo che:

$$\begin{aligned} q'' &= \int_{s''_o}^{s''_n} T''(S) dS ; \\ R'' &= \int_{s''_n}^{s''_{n+1}} T''(S) dS ; \\ Q'' &= \int_{s''_o}^{s''_{n+1}} T''(S) dS . \end{aligned}$$

ed anche

$$\begin{aligned} R' &= \int_{s'_1}^{s'_o} T'(S) dS ; \\ q' &= \int_{s'_{n+1}}^{s'_1} T'(S) dS ; \\ Q' &= \int_{s'_{n+1}}^{s'_o} T'(S) dS . \end{aligned}$$

Con queste notazioni la relazione (2.4) diventa:

$$q'' + R'' = Q'' \quad \text{eq. 2.7}$$

analogamente la (2.5) diventa:

$$R' + q' = Q' \quad \text{eq. 2.8}$$

Sommando membro a membro la (2.7) e la (2.8) e ricordando che $q'' + q' = 0$ e che, per ipotesi, $Q'' + Q' = 0$, otteniamo:

$$R'' + R' = 0 \quad \text{eq. 2.9}$$

Ciò dimostra che i due resti devono essere sempre uguali e opposti (area γ uguale all'area β), ma non implica che essi tendano a zero.

Tuttavia si era in precedenza osservato che se il fluido è sempre in fase gassosa, la condizione $Q'' = -Q'$ comporta il fatto che la relazione $q'' = -q'$ può essere sempre mantenuta per quanto vicino sia T_1 a T_o .

Pertanto, aumentando il numero intero N oltre ogni limite, si può ottenere che T_1 sia diverso da T_o di una quantità piccola a piacere, al limite infinitesima, per cui il resto R' può tendere a zero e quindi, per la (2.9), anche R'' deve tendere a zero.

Dal momento che il ragionamento testé svolto può essere ripetuto anche se il verso di percorrenza delle due isocore viene invertito, risulta dimostrato il fatto che esse possono neutralizzare mutuamente gli scambi di calore delle infinite sorgenti intermedie e rendere reversibile la coppia di trasformazioni considerate.

NOTA INCIDENTALI: **Attenzione, tale reversibilità non implica, come potrebbe sembrare, che sia stato dimostrato che gli scambi di calore delle infinite sorgenti intermedie siano tutti infinitesimi. Infatti il numero N delle sorgenti intermedie può tendere all'infinito anche se gli scambi di calore di alcune sorgenti intermedie sono di valore finito.**

In base alla definizione di recuperatore perfetto per le isocore, resta quindi dimostrato anche che un tale recuperatore di calore può rendere reversibili le due trasformazioni isocore considerate.

10.16 COROLLARIO CLS-1

NELLE CONDIZIONI INDICATE NELLA TESI DEL LEMMA LS-1, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE NULLI.

DIMOSTRAZIONE:

La dimostrazione del corollario è implicita nella dimostrazione del LEMMA LS-1.

Infatti, ogni flusso di gas che entra in contatto con la sorgente principale verso la quale è diretto, ha una temperatura che differisce di infinitesimi rispetto ad essa (i due resti R' e R'' tendono entrambi a zero), al limite uguale a zero.

Quando tale condizione-limite si verifica, lo scambio di calore tra gas e sorgente principale si annulla.

10.17 TEOREMA TS-1

PER UN CICLO DI STIRLING CON ISOCORE DI EGUAL CALORE

TESI:

In un ciclo di Stirling ideale che impiega un gas reale tra due sorgenti estreme a temperature diverse, se le due trasformazioni isocore hanno quantità di calore uguali e sono attuate con un recuperatore di calore perfetto, il ciclo stesso può essere percorso in modo reversibile e soddisfa le condizioni di massimo rendimento dovute a CARNOT.

DIMOSTRAZIONE:

La dimostrazione della prima parte di questo teorema segue facilmente dal LEMMA LS-1; per la seconda parte è necessario discutere sui criteri di CARNOT.

Prima parte della dimostrazione

Nel LEMMA LS-1 e nel COROLLARIO CS-1, abbiamo dimostrato che due isocore contrapposte che richiedono uguali quantità di calore possono essere attuate in modo reversibile mediante un recuperatore perfetto di calore, senza che le sorgenti principali

risultino assoggettate, per tale motivo, a scambi di calore.

Pertanto possiamo pensare di applicare il recuperatore perfetto al ciclo di Stirling ideale.

Se quindi immaginiamo di eseguire anche le isoterme del ciclo in modo reversibile, tutto il ciclo può essere composto di trasformazioni reversibili, ed abbiamo con ciò dimostrato la prima parte.

Seconda parte della dimostrazione

Bisogna osservare che per il ciclo di Stirling i tre criteri di CARNOT sul massimo rendimento, citati nella premessa, non sono tra loro equivalenti, come accade per il ciclo di CARNOT.

Infatti, se consideriamo il primo criterio, in base a quanto già detto, potremmo dire che tale criterio sarebbe applicabile al ciclo di Stirling con recuperatore solo se il suo significato venisse allargato fino a comprendere anche variazioni di volume causate da variazioni di temperatura, e non solo il viceversa.

Questa estensione non sembra di poco conto, poiché equivale a scambiare la causa con l'effetto.

Pertanto, conviene osservare subito che questo criterio, così allargato, se fosse applicabile, dovrebbe essere enunciato come segue:

Si ha il massimo rendimento quando in un ciclo non esiste nessuna variazione di temperatura che non sia causata da un cambiamento di volume, e anche nessuna variazione di volume che non sia causata da un cambiamento di temperatura.

Tuttavia è chiaro che la seconda parte, da noi aggiunta, non è applicabile alle isoterme, poiché in esse il volume cambia senza che la temperatura cambi.

Quindi, il primo criterio nella sua versione originale non è

applicabile alle isocore; mentre nella versione da noi modificata non è applicabile alle isoterme, per cui il primo criterio non può essere un criterio generale e deve essere scartato.

Questo criterio enunciato da CARNOT è valido nel ciclo di CARNOT per tutte le sue trasformazioni, ma detto ciclo non comprende trasformazioni isocore; non era quindi possibile coglierne la particolarità restando nell'ambito del solo ciclo di CARNOT.

Il secondo criterio, invece, sembra essere soddisfatto in ogni parte del ciclo di Stirling, dato che corpi a temperatura sensibilmente diversa non vengono mai a contatto tra di loro.

Infatti, le isoterme sono supposte già reversibili, per cui non vi sono in esse differenze finite di temperatura, mentre nelle isocore la presenza di infinite sorgenti (ognuna a scambio di calore nullo) assicura ancora differenze di temperatura infinitesime tra tali sorgenti ed il fluido, per cui anche le isocore sono reversibili.

Anche il terzo criterio di CARNOT sembra essere sempre soddisfatto, poiché tutto il calore viene assorbito nell'isoterma superiore e rigettato nella isoterma inferiore.

Quindi, dei tre criteri di CARNOT, ne restano utilizzabili soltanto due.

Definendo sempre il rendimento come rapporto tra lavoro utile e calore entrante, ricordiamo che la quantità di lavoro che il ciclo può eseguire non cambia, anche se il recuperatore di calore viene a mancare del tutto.

Questo risultato si ottiene anche se nelle due sorgenti principali “non” sono presenti degli scambiatori perfetti, dato che per le isocore il lavoro è nullo.

Di conseguenza, nel calcolo del rendimento il numeratore è fisso.

Se poi, a causa della presenza del recuperatore perfetto per le isocore, vengono a mancare i motivi per un possibile spreco del calore assorbito alla temperatura maggiore, allora il rapporto tra lavoro prodotto e calore assorbito potrebbe avere anche un valore massimo, come volevasi dimostrare.

OSSERVAZIONE

Se il gas consente l'esistenza di più di uno di questi casi tra due stesse temperature, allora in ognuno di essi sarà verificata la condizione suddetta, la quale consentirebbe il massimo rendimento, ma dal suddetto teorema nulla si deduce circa l'effettivo raggiungimento di un massimo assoluto.

Infatti non è possibile escludere che in zone diverse del piano P, v , pur tra due stesse temperature, vi possa essere un diverso rapporto tra lavoro prodotto e calore assorbito alla temperatura più alta.

Questa esclusione si può ottenere con ragionamenti non costruttivi, basati sulla negazione del moto perpetuo di seconda specie, ragionamenti che però noi rigettiamo.

Pertanto, tenendo conto di questi concetti, potremmo dire che gli argomenti di CARNOT relativi ai criteri di massimo rendimento, sono condizioni necessarie per un massimo di rendimento, ma *“non sono sufficienti a garantire che detto massimo sia il massimo assoluto”*.

10.18 COROLLARIO CS-1

NELLE CONDIZIONI INDICATE NELLA TESI DEL LEMMA LS-1, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE REVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE:

Con il Corollario CLS-1 si è dimostrato che, nelle condizioni di cui al Lemma LS-1, le due sorgenti di calore principali sono soggette a

scambi nulli di calore.

Nel Teorema TS-1 il recuperatore perfetto di calore è stato utilizzato in un ciclo ideale di Stirling, per il quale le due isocore scambiano calore in modo reversibile con le rispettive sorgenti principali.

Dato che il recuperatore perfetto di calore nel suo funzionamento scambia quantità di calore nulle con le due sorgenti principali, ne consegue che le due sorgenti principali scambiano calore soltanto con le due isocore del ciclo di Stirling, le quali sono reversibili per ipotesi, e ciò dimostra il Corollario.

10.19 TEOREMA TS-2

SUL CICLO DI STIRLING CON ISOCORE TERMICAMENTE NON EQUIVALENTI

TESI:

Se in un ciclo di Stirling ideale che utilizza un gas reale le quantità di calore delle due trasformazioni isocore hanno valori assoluti diversi, il ciclo è irreversibile ma, attraverso l'uso di un recuperatore di calore perfetto per le isocore, è possibile annullare sempre ogni quantità residua di calore che l'isocora di minor calore tenderebbe a scambiare con una delle sorgenti principali, e tutta la differenza di calore esistente tra le due isocore viene posta a carico della sorgente verso cui è diretto il fluido dell'isocora di maggior calore. Inoltre il ciclo non rispetta i criteri di massimo rendimento di CARNOT.

DIMOSTRAZIONE:

Prima e seconda parte della dimostrazione

La dimostrazione del presente teorema ricalca lo schema della precedente, per cui assumeremo le stesse convenzioni.

Sommando membro a membro la eq. (2.7) e la eq. (2.8), relative al LEMMA LS-1, si otteneva la eq. (2.9).

Se ora Q'' è diverso da Q' , la somma di (2.7) e (2.8) è diversa da zero (essendo sempre $q'' + q' = 0$), per cui:

$$R'' + R' = Q'' + Q' \neq 0$$

Supponiamo ora che Q'' sia maggiore di Q' .

Se il verso di percorrenza delle isocore è come quello indicato nella seguente Figura 10.16-a,

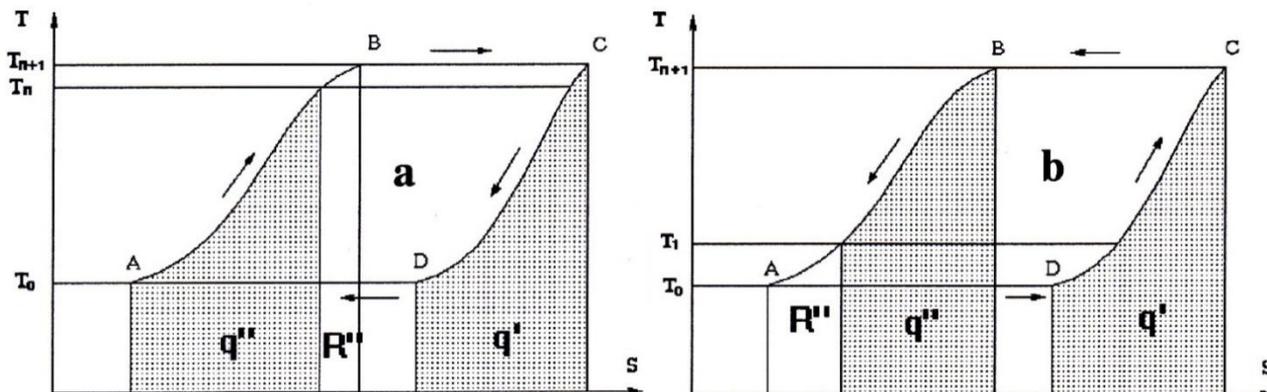


Fig. 10.16 Isocore non bilanciate

allora Q'' sarà positivo, mentre Q' sarà negativo, per cui:

$$R'' + R' > 0$$

In questo caso, la condizione $q'' = -q'$ può essere mantenuta comunque T_1 sia vicino a T_0 per cui R' tende a zero.

Pertanto R'' tende ad un valore positivo, e quindi la relativa quantità di calore sarà a carico della sorgente più calda, T_{n+1} .

Invertendo il verso di percorrenza, come in Figura 10.16-b, si invertono tutti i segni ma le quantità di calore non cambiano, perciò:

$$R'' + R' < 0$$

In questo caso si ottiene un risultato simile nel senso che la condizione $q'' = -q'$ può essere mantenuta comunque T_n sia vicino a T_{n+1} .

Ciò significa che il resto R' tenderà ancora a zero ma R'' tenderà ad un valore negativo, che sarà, quindi, a carico della sorgente più fredda T_0 .

Abbiamo, con ciò, dimostrato che la quantità di calore minore Q' è sempre compensabile nei due casi possibili.

Se invece si ipotizza che il valore assoluto di Q'' sia minore di quello di Q' , tutti i ragionamenti di cui sopra si potranno invertire, con analoghe, ma inverse, conclusioni.

Resta così dimostrata la prima parte del teorema.

Terza parte della dimostrazione

Da quanto sopra detto, in questo tipo di ciclo si verifica una irreversibilità di tipo particolare. Essa è determinata dal fatto che, pur disponendo di un recuperatore perfetto, non è possibile compensare tra di loro due quantità di calore diverse in valore assoluto.

La quantità di calore R'' - inefficace nel produrre lavoro meccanico - non dipende da dispositivi imperfetti, ma essa dipende soltanto dalle proprietà del gas lungo il ciclo stesso.

Allorché il recuperatore non fosse perfetto, R'' aumenterebbe ma, al contempo, si verificherebbe una analoga irreversibilità anche nell'altra sorgente estrema, poiché la somma algebrica delle due quantità di calore non può cambiare.

Notiamo, incidentalmente, che un recuperatore imperfetto potrebbe essere semplicemente un recuperatore con un numero finito di stadi.

Quindi se il ciclo è motore, R'' non rappresenta una perdita, ma è solo la “minima” quantità di calore che è necessario far scambiare alla sorgente T_{n+1} (oltre a quella che è di pertinenza della relativa isoterma) per poter chiudere il ciclo, secondo le proprietà del gas impiegato.

Pertanto, in questo caso viene a mancare il secondo dei criteri di massimo rendimento di CARNOT, poiché corpi a temperatura diversa vengono in contatto tra di loro, ma tale “imperfezione” è

inevitabile poiché non è imputabile a dispositivi imperfetti.

Avendo già stabilito in precedenza che il primo criterio di CARNOT non è applicabile, consideriamo il terzo.

Il terzo criterio è ancora verificato, poiché si è visto che il recuperatore è in grado di neutralizzare il calore scambiato da “tutte” le sorgenti intermedie, anche quando le due quantità di calore delle isobare non hanno lo stesso valore.

Infatti, in questo caso tutta la differenza di calore può essere posta a carico di una sola sorgente terminale.

Dal momento che nel ciclo mancano conduzioni inutili di calore tra le parti interne della macchina, ne segue, ovviamente, che tutto il calore sarà assorbito alla temperatura più alta e rigettato alla temperatura più bassa, ma in modo non reversibile.

Perciò, almeno nelle condizioni ideali in cui ci siamo posti, il terzo criterio, essendo sempre verificato, perde il valore generale assegnatogli da CARNOT.

Questo ragionamento dimostra che l'unico criterio di massimo rendimento utilizzabile, tra quelli citati da CARNOT, può essere solo il secondo.

Dato che nel nostro caso il (secondo) criterio di CARNOT, relativo alla condizione di massimo rendimento, non è rispettato, possiamo concludere che il ciclo di cui alla tesi non si trova nelle condizioni idonee a garantire il rispetto dei criteri di CARNOT per il massimo rendimento, come volevasi dimostrare.

10.20 COROLLARIO CS-2

NELLE CONDIZIONI DELLA TESI DEL TEOREMA TS-2, LA SORGENTE VERSO LA QUALE È DIRETTO IL FLUSSO ISOCORO DI MAGGIOR CALORE SUBISCE SCAMBI DI CALORE IRREVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE

Nel primo caso, il resto R'' non è infinitesimo, e quindi la sorgente T_o scambia calore con un corpo avente una differenza finita di temperatura rispetto ad essa, e tale tipo di scambio di calore è definito irreversibile.

Nel secondo caso, il resto R' non è infinitesimo, e quindi la sorgente T_{n+1} scambia calore in modo definito irreversibile.

10.21 TEOREMA TS-3

PER COMBINAZIONI DI CICLI DI STIRLING CON TRASFORMAZIONI ISOCORE TRA LORO COMPENSABILI

TESI

Per una combinazione di un numero qualsiasi di cicli di Stirling ideali che impiegano uno stesso gas reale, tra due date sorgenti estreme a temperature diverse, in cui la somma algebrica delle quantità di calore delle isocore è nulla, esiste una distribuzione di temperature per infinite sorgenti intermedie tra quelle date, tale da rendere reversibile l'insieme delle quattro isocore, se esse attraversano un'unica serie di sorgenti con detta distribuzione di temperatura.

Inoltre, la combinazione di cicli può essere attuata in modo reversibile con un comune recuperatore di calore perfetto per le isocore e rispetta il criterio di massimo rendimento di CARNOT.

DIMOSTRAZIONE:

In relazione alle isocore, il caso che si prospetta come esempio è simile a quello illustrato schematicamente nella precedente Figura 10.12, qui riportato per opportunità,

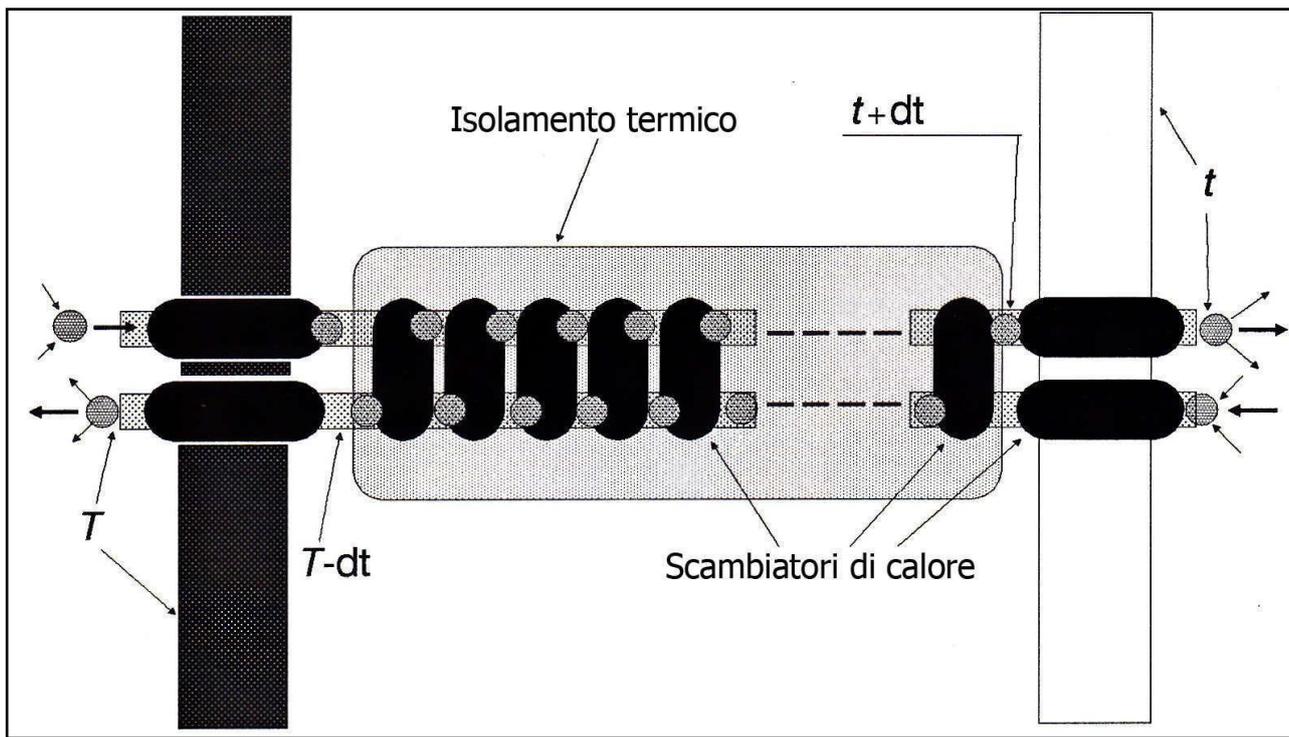


Fig. 10.12 Recuperatore di calore ideale per isocore

con la differenza che ora quattro condutture attraversano l'insieme degli scambiatori di calore.

Infatti, la dimostrazione che segue è limitata al caso di due soli cicli di Stirling, poiché l'estensione ad un numero maggiore di cicli è ovvia.

Ogni stadio di termalizzazione è attraversato da tutti i contenitori, i quali trasportano eguali masse di fluido aventi, però, volumi diversi.

La dimostrazione del teorema può essere ottenuta combinando insieme le tecniche di dimostrazione relative al LEMMA LS-1 e al TEOREMA TS-1, dimostrando che le infinite sorgenti intermedie possono essere tutte neutralizzate e possono essere annullate le quantità di calore residue risultanti dalle isocore, le quali sarebbero a carico delle due sorgenti estreme.

Nella seguente Figura 10.17 sono illustrati i diagrammi di quattro funzioni monotone crescenti $T(S)$, ognuna delle quali relativa ad una isocora, esse fanno parte di due cicli di Stirling S_1 e S_2 .

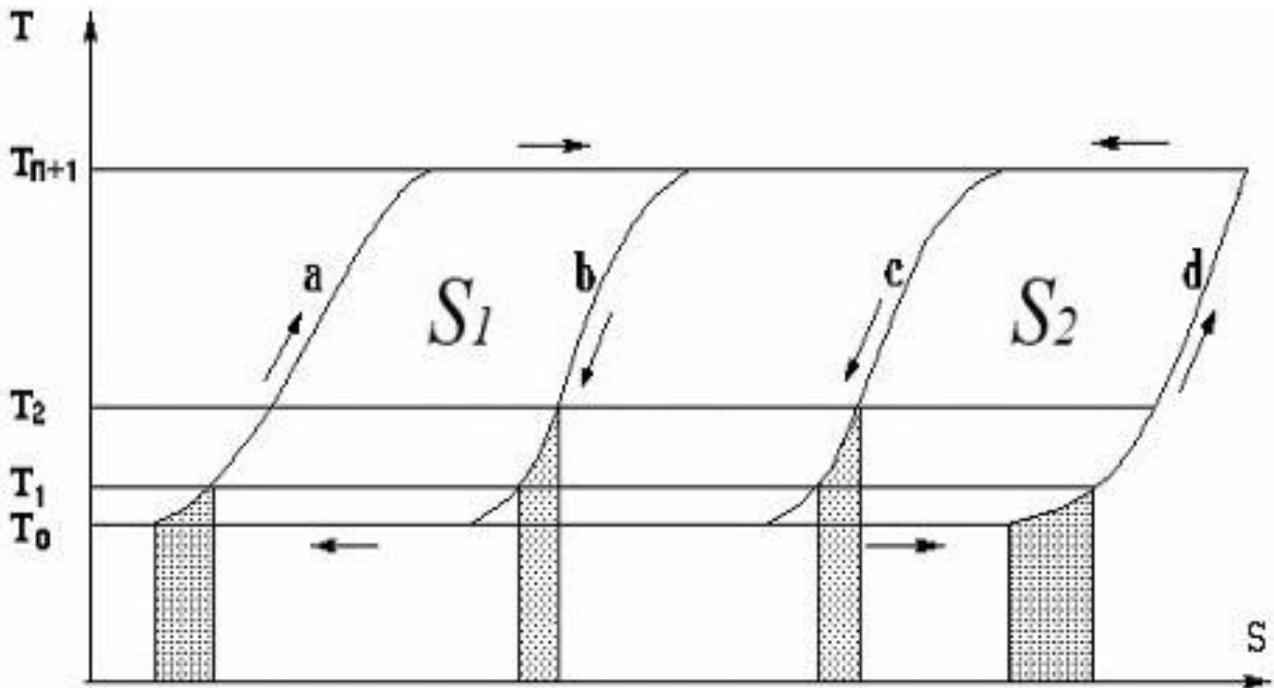


Fig. 10.17 *Combinazione di due cicli di Stirling*

Questi cicli potrebbero essere sia concordi che contrapposti, ma nella Figura 10.17 essi sono contrapposti.

Nella figura è ipotizzato l'uso di una sorgente intermedia ausiliaria a temperatura T_1 , scelta arbitrariamente tra i valori estremi T_0 e T_{n+1} , in cui T_0 è più freddo di T_{n+1} .

La scelta di T_1 determina, a sua volta, un unico valore di T_2 per il quale il bilancio del calore di T_1 si annulla.

I due flussi **a** e **d**, dato che provengono da una zona a minore temperatura, tenderebbero a sottrarre a detta sorgente T_1 la quantità di calore $Q_{1a} + Q_{1d}$.

Per neutralizzare questo assorbimento di calore, utilizzando il calore degli altri due rami isocori **b** e **c**, si può pensare di introdurre una seconda sorgente intermedia a temperatura $T_2 > T_1$, tale che la quantità di calore $Q_{1b} + Q_{1c}$ che viene così individuata e ceduta a T_1 sia uguale ed opposta alla somma precedente, in modo tale che sia verificata la seguente uguaglianza:

$$Q_{1a} + Q_{1b} + Q_{1c} + Q_{1d} = 0$$

In base al fatto che le quattro funzioni $T(S)$ sono funzioni monotone crescenti, per un fluido gassoso, questa equazione sarà sempre valida.

Pertanto, è possibile iterare il procedimento aumentando il numero delle sorgenti intermedie fino a compensare quasi completamente le quattro quantità di calore isocoriche.

Avendo però scelto la temperatura T_1 in modo arbitrario, si otterrà un determinato numero massimo di sorgenti intermedie ma, in generale, non sarà possibile ottenere una esatta compensazione anche del calore scambiato dall'ultima sorgente intermedia più calda.

Tuttavia, **poiché le funzioni $T(S)$ sono continue e monotone**, esiste certamente un intervallo di temperature intorno T , entro il quale è possibile trovare una distribuzione di temperature tale da compensare esattamente anche dell'ultima sorgente intermedia più calda.

Poiché è possibile scegliere T_1 arbitrariamente vicina a T_o , ne segue che man mano che T_1 si avvicina a T_o , il numero intero N , che rappresenta il numero delle risultanti sorgenti intermedie, “tutte compensate”, può crescere oltre ogni limite.

È quindi possibile ridurre a valori infinitesimi la differenza di temperatura la sorgente principale T_1 e la sorgente intermedia più vicina, mantenendo compensato il bilancio di calore di ogni sorgente ausiliaria intermedia.

Come si vede, rispetto al TEOREMA TS-1, che coinvolgeva solo un ciclo di Stirling, nulla è concettualmente cambiato, pertanto possiamo introdurre le stesse convenzioni ivi usate e considerare le quantità di calore Q di ogni isocora come divise in due parti, una parte compensata, che indicheremo sempre con q , e una parte non compensata, che indicheremo con R .

Utilizzando gli indici a, b, c, d per designare le grandezze relative alle rispettive isocore con gli stessi indici, potremo scrivere:

$$q_a + R_a = Q_a$$

$$R_b + q_b = Q_b$$

$$R_c + q_c = Q_c$$

$$q_d + R_d = Q_d$$

Sommando, membro a membro, le quattro relazioni, e ricordando che la somma algebrica delle quattro quantità di calore delle isocore è nulla, e che le parti compensate hanno anche una somma algebrica nulla, abbiamo:

$$R_a + R_b + R_c + R_d = 0$$

Se il numero N delle sorgenti intermedie viene aumentato oltre ogni limite, si può ottenere che T_1 sia diverso da T_o di una quantità piccola a piacere, per cui la somma dei resti R_b e R_c può tendere a zero, e quindi, in base alla precedente relazione, anche l'altra somma dei resti R_a e R_d può tendere a zero.

Dal momento che il precedente ragionamento può essere ripetuto anche se il verso di percorrenza dei due cicli viene invertito, risulta dimostrato che il sistema descritto è reversibile, dato che tutte le differenze di temperatura possono essere infinitesime.

Inoltre, se tutte le sorgenti intermedie hanno un bilancio di calore nullo, esse sono superflue e possono essere eliminate lasciando al loro posto gli scambiatori di calore. Poiché detti scambiatori di calore possono essere perfettamente isolati tra di loro e verso l'ambiente esterno, il relativo insieme costituisce un recuperatore perfetto di calore per le isocore, secondo la nostra definizione.

Resta così dimostrata la prima parte del teorema.

Seconda parte della dimostrazione

La seconda parte si dimostra constatando che se le isoterme sono

tutte ideali, allora i due cicli di Stirling così ottenuti verificano il (secondo) criterio di massimo rendimento di CARNOT, poiché mai parti a temperatura diversa vengono in contatto tra di loro e quindi l'insieme, se producesse lavoro, lo potrebbe produrre in condizioni di massimo rendimento.

OSSERVAZIONE

Se i due cicli di Stirling sono attuati con due separati recuperatori perfetti di calore, non è più possibile dimostrare la tesi del corollario in modo generale.

Infatti, per ogni coppia di isocore si dovrebbe trovare un insieme di temperature tali da compensare nel modo più completo le due quantità di calore.

Ma l'insieme di temperature di un ciclo sarebbe, generalmente, diverso da quello del secondo ciclo.

Ognuno di essi, quindi, darebbe luogo ad un resto di calore a carico di una o dell'altra sorgente. Questi resti sarebbero di entità finita e quindi non compensabili, in generale, tra di loro.

10.22 COROLLARIO CS-3

NELLE CONDIZIONI SPECIFICATE NELLA TESI DEL TEOREMA TS-3, LE DUE SORGENTI PRINCIPALI SONO SOGGETTE A SCAMBI DI CALORE REVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE

In entrambe le direzioni di funzionamento dei cicli di Stirling, le due sorgenti principali di calore scambiano calore nulle con il recuperatore perfetto di calore, mentre esse scambiano calore in modo reversibile con le isocore dei cicli di Stirling.

10.23 TEOREMA TS-4

SU UNA COMBINAZIONE DI CICLI DI STIRLING CON ISOCORE NON COMPENSABILI

TESI:

Per una combinazione di un numero qualsiasi di cicli di Stirling che impiegano uno stesso gas reale, tra due sorgenti estreme a temperature diverse, in cui la somma algebrica delle quantità di calore delle isocore non è nulla, una quantità di calore pari a questa somma algebrica viene prelevata irreversibilmente dalla sorgente più calda se tale somma è positiva, o viene ceduta irreversibilmente alla sorgente più fredda se tale somma è negativa, anche se viene impiegato un recuperatore di calore perfetto comune a tutte le isocore.

DIMOSTRAZIONE:

Con riferimento alla Fig.9.10 e alle notazioni del TEOREMA TS-3 precedente, possiamo in esso introdurre gli stessi ragionamenti che, nel TEOREMA TS-2, avevano consentito la sua dimostrazione.

Poniamo, infatti, che la somma algebrica delle quantità di calore delle isocore, che potremmo chiamare ΣQ , non sia nulla.

In questo caso, la somma delle quantità di calore delle isocore, che avevamo scritto nel precedente TEOREMA TS-2, darà luogo a:

$$R_a + R_b + R_c + R_d = \Sigma Q \neq 0$$

Supponiamo ora che le due isocore concordi **a** e **d** abbiano complessivamente quantità di calore maggiore delle altre due isocore concordi **b** e **c**.

Allora, la somma $R_a + R_d$ sarà positiva e l'altra somma $R_b + R_c$ negativa, in virtù della convenzione sui segni delle quantità di calore.

In questo caso, la condizione

$$q_a + q_b + q_c + q_d = 0$$

può essere mantenuta comunque T_1 sia vicino a T_o .

Pertanto, $R_b + R_c$ può tendere a zero e, di conseguenza, $R_a + R_d$ tende a un valore positivo pari proprio a ΣQ .

Questa quantità di calore viene quindi prelevata dalla sorgente più calda.

Invertendo il verso di percorrenza dei due cicli, si invertono tutti i segni, ma le quantità di calore non cambiano, per cui ΣQ diventa negativo.

In questo caso, si ottiene un risultato simile, nel senso che la condizione

$$q_a + q_b + q_c + q_d = 0$$

può essere mantenuta comunque T_n sia vicino a T_{n+1} .

Ciò significa che, anche questa volta, $R_b + R_c$ tende a zero, per cui $R_a + R_d$ tende al valore negativo ΣQ .

Pertanto questa quantità di calore verrà ceduta alla sorgente più fredda.

Se invece si ipotizza che $R_a + R_d$ sia minore di $R_b + R_c$, tutti i ragionamenti di cui sopra si potranno ripetere con analoghe ma inverse conclusioni.

Per quanto riguarda le modalità con cui queste quantità di calore residue vengono scambiate con le sorgenti, ricordando il COROLLARIO CS-2, possiamo dire che se vi sono delle eccedenze di calore non infinitesime, esse derivano dal bilancio di calore di un'ultima sorgente intermedia.

Ma dato che tutte le sorgenti intermedie possono essere sempre compensate, ciò implica che detti resti derivano da differenze di valori non infinitesimali e quindi quest'ultima sorgente intermedia deve avere una differenza finita di temperatura rispetto alla sorgente

principale attigua.

Pertanto le quantità di calore residue scambiate con le sorgenti principali devono essere in ogni caso irreversibili.

10.24 COROLLARIO CS-4

NELLE CONDIZIONI DELLA TESI DEL TEOREMA TS-4, LA SORGENTE VERSO LA QUALE È DIRETTO IL FLUSSO ISOBARO DI MAGGIOR CALORE SUBISCE SCAMBI DI CALORE IRREVERSIBILI.

DIMOSTRAZIONE

La dimostrazione di questo corollario è identica a quella del Corollario CS-2.

CAPITOLO 11

APPENDICE C

PROGRAMMI DI CALCOLO COMPUTERIZZATI

11.1 CALCOLO NUMERICO DEL RENDIMENTO DI CICLI TERMODINAMICI IDEALI CON E SENZA RECUPERATORE PERFETTO DI CALORE

Quanto segue è tratto dal libro *“Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale”* pubblicato in Italiano nel 1993, poi ripubblicato come e-Book anche in Inglese nel 2019 con il titolo *“Reflections on the Motive Power of the Environmental Heat – and on the engines suitable for developing this power”*.

Nel seguito è riportata una sintesi delle motivazioni che all'epoca mi fecero ritenere di aver dimostrato l'esistenza di cicli termodinamici ideali (o reversibili) “anomali”, ovvero con rendimento significativamente superiore a quello del ciclo di CARNOT tra le stesse temperature di funzionamento.

Il ciclo termodinamico di Ericsson era l'unico per il quale i miei calcoli fornivano un tale rendimento anomalo.

Le condizioni che davano luogo a tutto ciò erano le seguenti:

- Qualsiasi sostanza usata come corpo variabile per quel tipo di ciclo termodinamico vicino al punto critico, purché allo stato gassoso in ogni fase del ciclo stesso;
- Temperatura di funzionamento più bassa: leggermente superiore alla Temperatura Critica del fluido impiegato;
- Temperatura di funzionamento più alta: di poco superiore a quella più bassa;
- Impiego di un recuperatore perfetto di calore per le due trasformazioni isobariche.

Per effettuare i calcoli del rendimento, presi dapprima in considerazione la seguente pubblicazione:

“Thermodynamic Properties of Argon From the Triple Point to 300 K at Pressures to 1000 Atmospheres”, di Gosman, A. L.; McCarty, R. D.; Hust, J. C., pubblicato dal National Standard Reference Data System – NBS-27, che è ora rintracciabile al seguente indirizzo web:

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/NSRDS/nbsnsrds27.pdf>

All'epoca ritenni che questa pubblicazione fosse particolarmente adatta allo scopo che mi prefiggevo, perché in essa si trovano tutti i dati delle proprietà termodinamiche dell'Argo, non solo sotto forma di tabelle, ma anche in forma analitica.

Mi fu possibile, pertanto, scrivere alcuni programmi computerizzati in linguaggio interprete GW-BASIC facenti uso dell'equazione di stato in forma analitica dell'Argo, nonché delle equazioni delle proprietà termodinamiche derivate (Energia interna; Entropia; Entalpia).

Questi programmi consentivano di effettuare agevolmente una completa valutazione delle variazioni del rendimento di un ciclo di Ericsson ideale in funzione dei parametri del ciclo, sia con

recuperatore perfetto di calore oppure senza.

La disponibilità di tutte queste equazioni in forma analitica, mi consentì di scrivere altri programmi computerizzati, per verificare come varia il rendimento di altre tipologie di cicli termodinamici con l'Argo, al variare dei parametri di questi cicli.

Nel citato libro del 1993, preso in considerazione da CHIATTI, si trovano, infatti, sei programmi scritti in GW-BASIC i quali consentono di ottenere l'andamento del valore del rendimento del ciclo di CARNOT calcolato per via numerica, nonché l'analogo l'andamento del rendimento del ciclo di Stirling e del ciclo di Ericsson, sia con recuperatore perfetto di calore per le isocore, che senza tale recuperatore.

I programmi in questione sono denominati CARNOT; CARNOTI; STIRLING; STIRREV; ERICSSON; ERIXREV e sono riportati nel seguito.

Sia il programma CARNOT che CARNOTI consentono di calcolare per via numerica il rendimento del ciclo ideale di CARNOT con Argo.

CARNOT richiede di digitare inizialmente le due temperature di funzionamento e due valori di densità del gas alla temperatura di funzionamento di valore minore. Anche CARNOTI richiede di digitare inizialmente le due temperature di funzionamento, ma poi richiede due valori di densità del gas relativi alla temperatura di funzionamento maggiore.

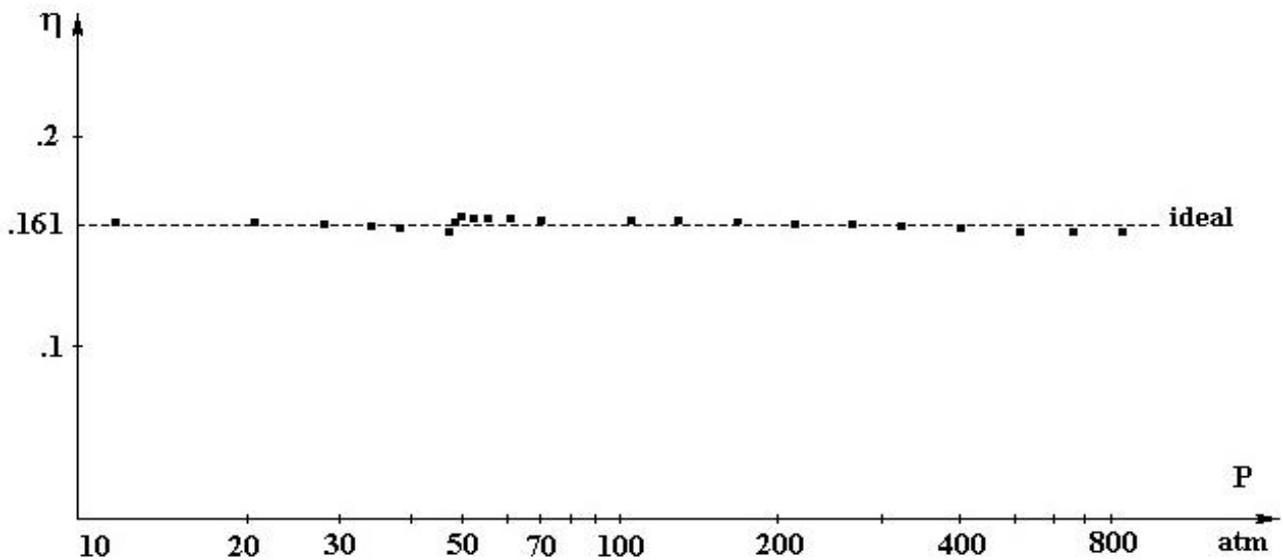


Fig. 11.1 Andamento del rendimento del ciclo di Carnot in Argo tra 180 K e 151 K, in funzione della pressione maggiore.

Come si vede nella Figura 11.1, i valori di rendimento del ciclo di CARNOT eseguito dall'Argo, calcolati per via numerica sono perfettamente aderenti al valore teorico di 0.161.

Il programma STIRLING consente di calcolare il rendimento di un ciclo ideale di Stirling, e richiede di digitare inizialmente due valori di temperature di funzionamento e due densità del gas relative alla temperatura inferiore.

Il programma STIRREV va alla ricerca del rendimento complessivo di una particolare combinazione di due contrapposti cicli di Stirling, adiacenti rispetto alla comune isocora centrale, e dotata di un recuperatore perfetto di calore comune per tutte le isocore.

La combinazione dei due cicli di Stirling trovata da STIRREV è reversibile, perché il programma individua quale sia l'isocora centrale che rende uguale a zero il bilancio di calore di tutte le isocore.

I programmi STIRLING e STIRREV tengono conto del Lemma LS-1 e dei Teoremi TS-1, TS-2, TS-3 e TS-4 dimostrati nel Capitolo precedente.

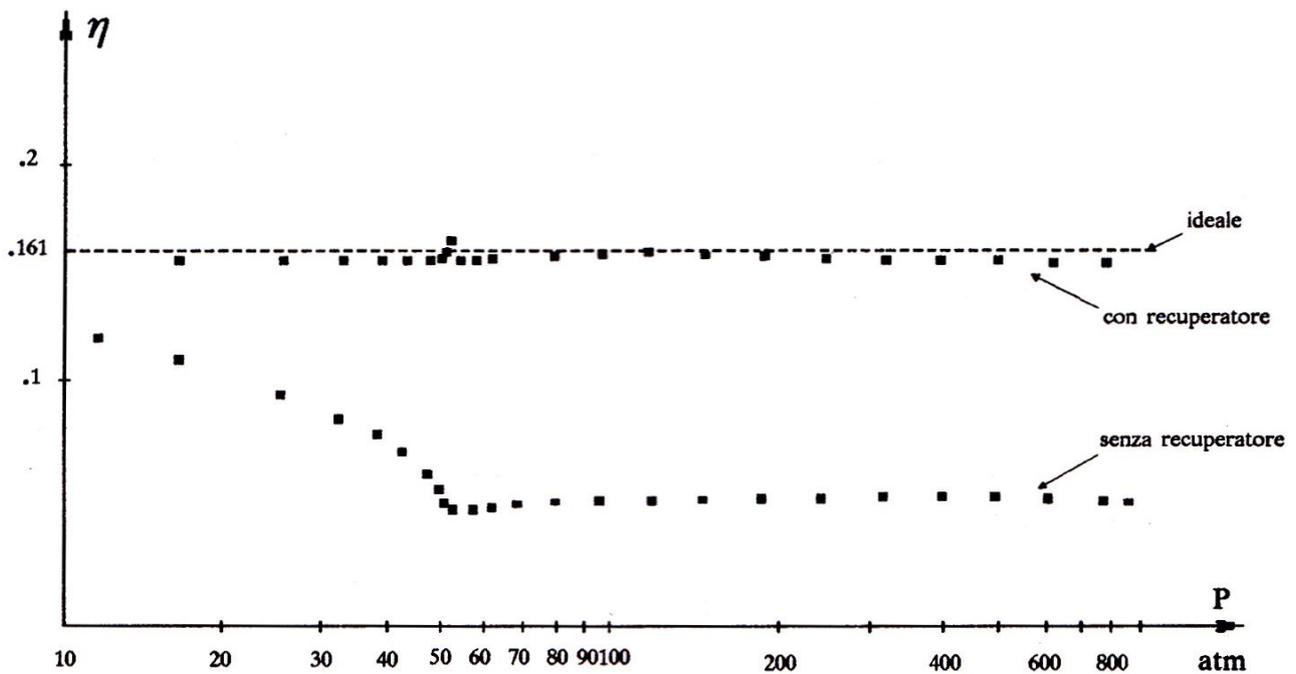


Fig. 11.2 Andamento del rendimento calcolato numericamente del ciclo di Stirling in Argo

Si noti nella precedente Figura 11.2 che il rendimento del ciclo di Stirling con il recuperatore perfetto di calore (calcolato tra 180 K e 151 K) è praticamente identico a quello previsto dalla teoria corrente, mentre l'assenza del citato recuperatore determina un notevole abbassamento del rendimento.

Il programma ERICSSON consente di calcolare il rendimento di un ciclo ideale di Ericsson, e richiede di digitare inizialmente due valori di pressione del gas, entrambi relativi alla temperatura inferiore, e le due temperature di funzionamento.

Il programma ERICSSON è stato redatto tenendo conto del Lemma LE-1 e dei Teoremi TE-1, TE-2, TE-3 e TE-4 dimostrati in altro Capitolo.

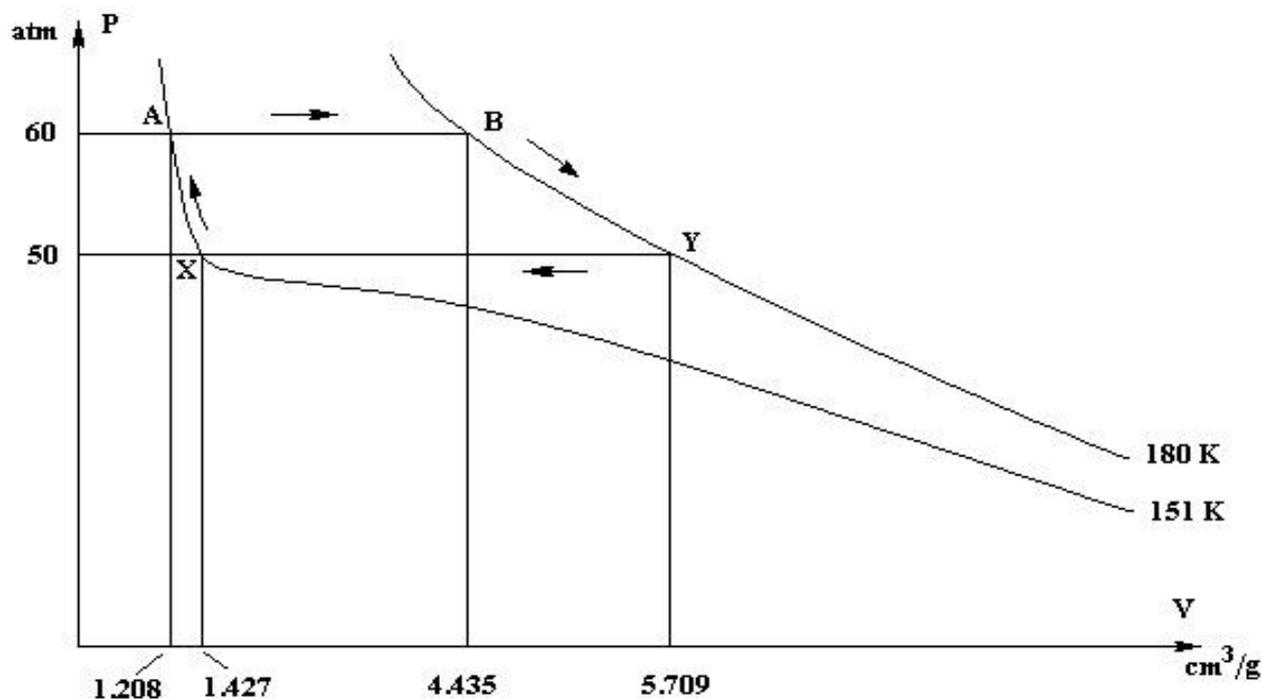


Fig. 11.3 Dati relativi ad un ciclo di Ericsson con Argo, ottenuti dalle Tabelle di NBS-27

La precedente Figura 11.3 mostra i valori di densità e pressione ottenuti dai **dati tabellari** di NBS-27 (p. 97, 98, 99, 100), digitando i quali nel programma ERICSSON, si ottiene il rendimento calcolato numericamente del corrispondente ciclo di Ericsson.

Le due tabelle seguenti mostrano i risultati del calcolo.

Thermodynamic properties of the four main points in Fig 5.14.					
		A	B	Y	X
Density	ρ (mol/l)	20.7081	5.64358	4.38398	17.5415
Spec.volume	v (cm ³ /g)	1.208	4.435	5.709	1.4270
Pressure	P (atm)	60	60	50	50
Temperature	T (K)	151	180	180	151
Entropia	S (J/mol K)	82.87	104.43	107.20	85.89
Internal energie	U (J/mol)	6246.8	8931.8	9146.6	6655.4
Enthalpy	H (J/mol)	6540.4	10008.8	10302.2	6944.2

Energy exchanges of 4 branches of the Ericsson cycle shown in Fig. 5.14					
Branch A-B	Branch B-Y	Branch Y-X	Branch X-A	OVERALL SUM	
783.58	283.57	- 866.46	- 48.74	151.95 L (J/mol)	Work
2685	214.8	- 2491.2	- 408.6	0 ΔU (J/mol)	Internal energy difference
3468.58	498.37	- 3357.66	- 457.34	151.95 Q (J/mol)	Heat
QISOBAR = $Q_{A-B} + Q_{Y-X} = 110.95$ (J/mol)					
Efficiency calculated with linear approximation = $L / (Q_{B-Y} + Q_{ISOBAR}) = 0.2493$					
Theoretical efficiency of the Carnot cycle = $(T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{MAX} = 0.1611..$					

La prima tabella mostra le caratteristiche di quattro punti principali del ciclo di Ericsson di cui sopra, mentre la seconda tabella mostra gli scambi di energia delle isoterme e delle isobare.

Notare che il rendimento “anomalo” uguale a 0.2493 è stato calcolato tenendo conto anche che QISOBAR è uguale a 110.96 J/mol; valore che corrisponde alla differenza, in termini di calore, delle due trasformazioni isobariche del medesimo ciclo.

Questo ciclo di Ericsson con Argo **non** è quello che fa risultare il massimo rendimento calcolato per via numerica, dato che le proprietà dei quattro punti principali sono state trovate nei dati **tabellari** di NBS-27.

Questo è il motivo per cui le due trasformazioni isobariche non si compensano l'una con l'altra, mantenendo una differenza tra loro di 110.96 J/mol.

Tuttavia, il programma ERICSSON può essere utilizzato per esplorare, per tentativi, come varia il rendimento al variare della posizione dei quattro punti principali.

Ad esempio, si può ripetere il calcolo mantenendo costanti le due

temperature di funzionamento, variando per tentativi la pressione maggiore o quella inferiore, alla ricerca di quella condizione che assicura il valore nullo di QISOBAR.

Usando tale semplice metodo, si è verificato che il massimo valore del rendimento del ciclo di Ericsson con l'Argo è uguale a 0.299, mentre il rendimento teorico massimo del ciclo di CARNOT tra le medesime temperature di funzionamento è uguale a 0.1611.

Le due tabelle riportano il risultato di questa ricerca.

Ciclo di Ericsson reversibile con argo E; tabella delle caratteristiche dei quattro punti estremi					
		A	B	Y	X
Densità	ρ (mol/l)	20. 3615	5. 3775	4. 804	19. 2807
Volume spec.	v (cm ³ /g)	1. 2294	4. 6549	5. 2106	1. 2983
Pressione	P (atm)	57. 9997	57. 9997	53. 4994	53. 4994
Temperatura	T (K)	151	180	180	151
Entropia	S (J/mol K)	83. 2	104. 97	106. 21	84. 23
Energia interna	U (J/mol)	6293. 3	8976. 9	9074. 3	6432. 9
Entalpia	H (J/mol)	6581.8	10069.5	10202.4	6713.9

Ciclo di Ericsson reversibile con argo E; tabella degli scambi energetici					
Ramo A-B	Ramo B-Y	Ramo Y-X	Ramo X-A	TOTALE	
804. 068	125. 243	- 847. 074	- 15. 481	66. 755 L (J/mol)	Lavoro
2684. 518	97. 462	-2641.473	- 140.507	0 ΔU (J/mol)	Diff. Energia int.
3488. 587	222. 705	- 3488.547	- 155.989	66. 755 Q (J/mol)	Calore
$Q_{ISOBAR} = Q_{A-B} + Q_{Y-X} = 0.03975 \cong 0$					
Rendimento calcolato numericamente = $L / (Q_{B-Y} + Q_{ISOBAR}) = 0.299$					
Rendimento teorico del ciclo di Carnot = $(T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{MAX} = 0.1611..$					

Come si vede dalle tabelle, l'annullamento di QISOBAR determina il massimo valore di rendimento calcolato, che è pari a 0.299 a fronte di un rendimento teorico massimo di 0.1611.

Si noti il fatto rilevante che l'annullamento di QISOBAR rende **reversibile** il ciclo. Infatti, in base al Teorema TE-3 ed al Corollario CE-3, le due sorgenti di calore sono soggette a scambi di calore reversibili, mentre le due isoterme sono reversibili per ipotesi.

Il programma ERIXREV va alla ricerca di quella particolare **combinazione di due contrapposti cicli di ERICSSON adiacenti (rispetto alla isobara centrale), per i quali il bilancio di calore delle quattro isobare (che si svolgono in un comune recuperatore perfetto di calore) è nullo.**

Il programma ERIXREV chiede di digitare le due pressioni estreme, le due temperature estreme di funzionamento ed anche due numeri interi e pari, N e NQ .

Aumentando N , si aumenta la precisione degli integrali calcolati con il metodo approssimato di integrazione di Simpson, mentre aumentando NQ si aumenta la precisione con la quale viene annullato il valore di QISOBAR.

Valori tipici sono i seguenti: $N=100$; $NQ = 1$ o 10 .

Si noti che anche il programma ERIXREV è stato redatto tenendo conto del Lemma LE-1 e dei Teoremi TE-1, TE-2, TE-3 e TE-4 dimostrati nel precedente Capitolo.

Pertanto, per contestare i risultati dei valori “anomali” di rendimento che ERICSSON ed ERIXREV calcolano, sarebbe indispensabile provare l'erroneità dei citati Teoremi.

A titolo di esempio, si riportano le due schermate che ERIXREV scrive sul monitor al termine della ricerca impostata digitando 60 atm per la pressione massima, 40 atm per la pressione minima, 180 K per la temperatura massima e 151.8327 K per la temperatura minima. Il rendimento teorico massimo per tali temperature di funzionamento è uguale a 0.156.

```

C:\ D:\GW-BAS~1\GWBASIC.EXE
*****Cicli di Ericsson in ARGO contrapposti e adiacenti*****
*-----programma ERIXREU-----Dati del NBS-27-----*
Risultati tra T= 180 e 151.83 (K)e tra P= 60 e 40 atm
Efficienza ideale di Carnot= .156
Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo SUPERIORE
      E           H           E1          H1
dens.(mol/l)  20.12       10.97       5.64       4.34
v(l/kg)      1.24         2.28        4.43       5.76
P(atm)       60            49.64       60         49.64
T(K)         151.82        151.82      180        180
U(J/mol)     6338.46       7563.91     8931.84    9153.62
S(J/mol-K)   83.53         93.01       104.43     107.29
H(J/mol)     6640.5        8022.3      10008.7    10311.9
Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo SUPERIORE
      E-E1      E1-H1      H1-H      H-E      TOTALE
774.69      293.29      -699.73   -215.24   153.01 (J/mol)
2593.37     221.78     -1589.7   -1225.45  0 (J/mol)
3368.07     515.0801   -2289.44 -1440.69  153.01 (J/mol)
      QISOBAR(sup)= 1078.62 (J/mol)
Efficienza del ciclo SUPERIORE= .096 premere F5 (CONT)
Break in 3540
Ok
1LIST 2RUN← 3LOAD" 4SAVE" 5CONT← 6."LPT1 7TRON← 8TROFF← 9KEY 0SCREEN

```

Fig. 11.4 Prima schermata

Premendo F5 segue la seconda schermata:

```

C:\ D:\GW-BAS~1\GWBASIC.EXE
Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo INFERIORE
      H           K           H1          K1
d(mol/l)     10.97         5.12        4.34       3.29
v(l/kg)      2.28         4.88        5.76       7.6
P(atm)       49.64         40          49.64      40
T(Kelvin)   151.82        151.82      180        180
U(J/mol)     7563.91       8565.731    9153.62    9337.12
S(J/mol-K)   93.01         102.76      107.29     110.15
H(J/mol)     8022.3        9357.3      10311.9    10568.1
Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo INFERIORE
      H1-H      K1-H1      K-K1      H-K      TOTALE
-699.73     -331.16    439.4     478.11   -113.38 (J/mol)
-1589.7     -183.49    771.38    1001.81  0 (J/mol)
-2289.44    -514.66    1210.79   1479.93  -113.38 (J/mol)
      QISOBAR(inf)=-1078.65 (J/mol)
Efficienza del ciclo INFERIORE impiegato come motore= .071
**PRESTAZIONI DEL SISTEMA DI CICLI CON RECUPERORE COMUNE PERFETTO**
Calore assorbito dalla sorgente calda= .4210221202079367 (J/mol)
Calore ceduto alla sorgente fredda= 39.20048456660649 (J/mol)
Lavoro prodotto dal sistema di cicli= 39.62150668681435 (J/mol)
Efficienza totale del sistema come motore= .9999999999999981
Premere F5 (CONT) per rivedere la schermata precedente
Ok
1LIST 2RUN← 3LOAD" 4SAVE" 5CONT← 6."LPT1 7TRON← 8TROFF← 9KEY 0SCREEN

```

Fig. 11.5 Seconda schermata

Come si vede, i due valori di QISOBAR: +1078.62 per il primo ciclo e - 1078,65 per il secondo ciclo, non sono esattamente uguali a causa del calcolo numerico. Il rendimento complessivo della combinazione viene calcolato tenendo conto del Teorema TE-3, ed è uguale a:

0.99999999999999981

diverso da 1 perché è stato calcolato numericamente.

Questo valore è in netto contrasto con la teoria termodinamica condivisa, secondo la quale il rendimento massimo teorico η sarebbe determinato soltanto dalle due temperature di funzionamento secondo l'equazione

$$\eta = (180 - 151,82)/180 = 0.156.$$

Inoltre, la combinazione dei due cicli contrapposti di Ericsson è reversibile.

Si noti, tuttavia, che tale valore di rendimento si ottiene soltanto se viene impiegato un recuperatore comune, come richiesto dal Teorema TE-3 (vedi la seguente Figura 11.6).

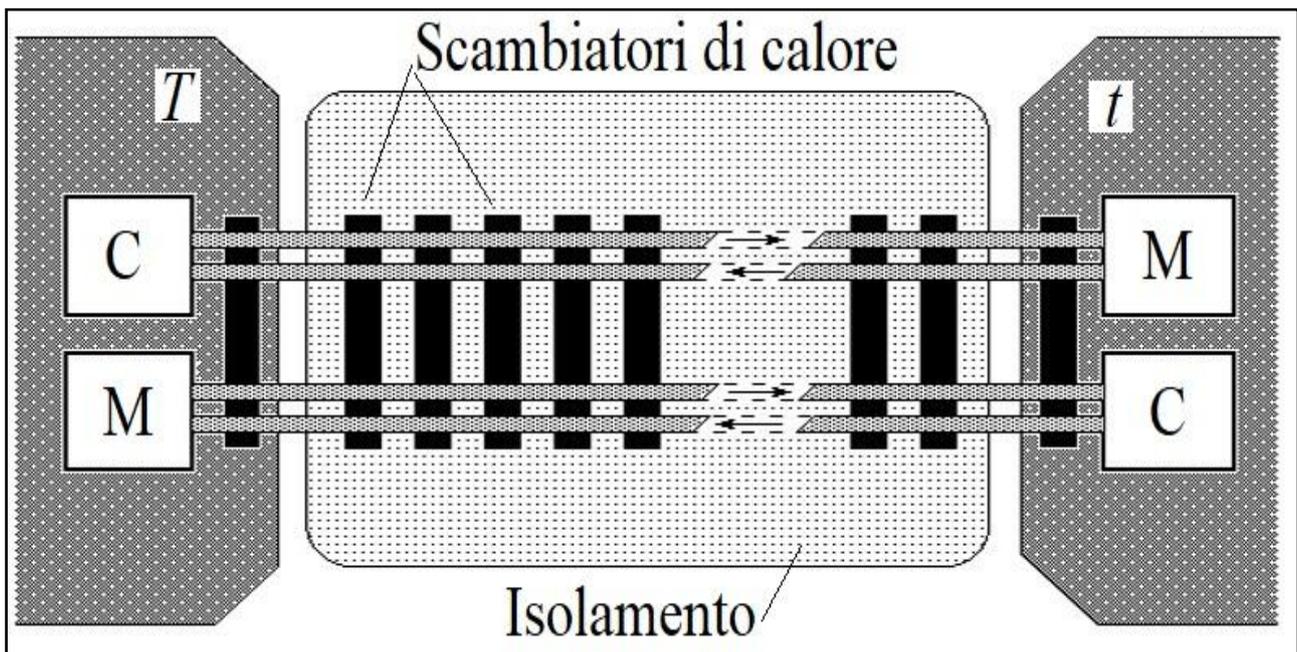


Fig. 11.6

Tale recuperatore è in grado di mettere in contatto, in ogni stadio di termalizzazione, i quattro flussi isobari.

Il rendimento unitario non viene raggiunto se vengono impiegati due recuperatori separati, uno per ogni ciclo, come nella seguente Figura 11.7.

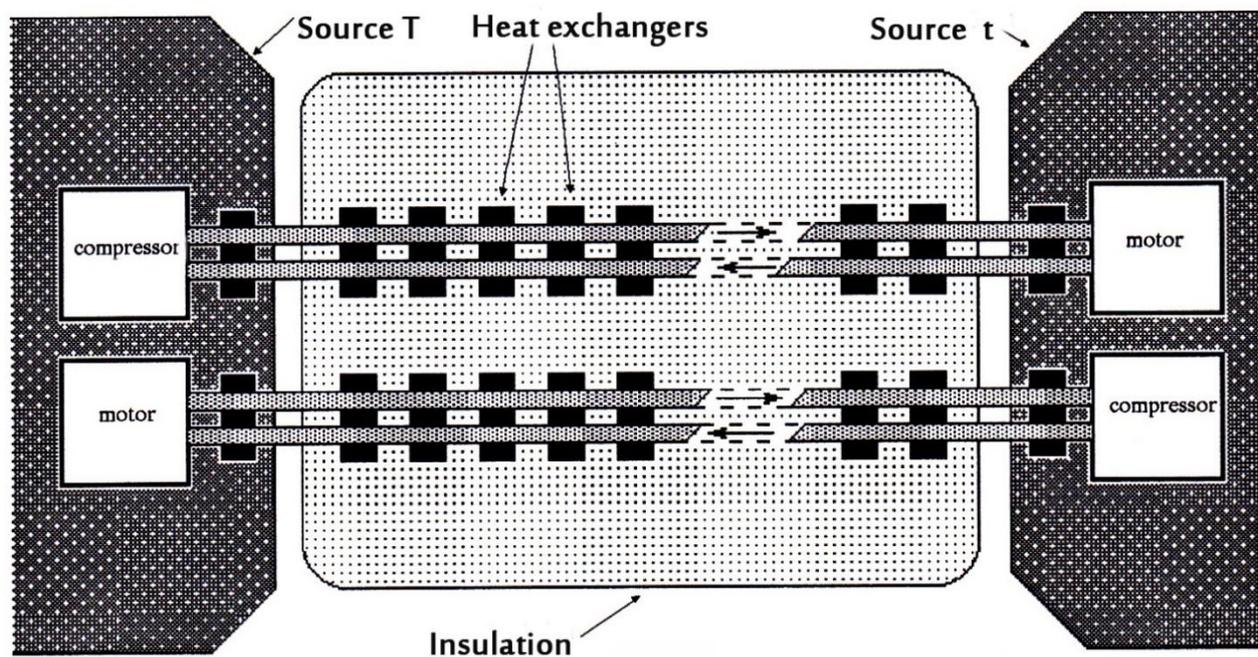


Fig. 11.7

L'utilizzazione di un recuperatore comune, quindi, assicura che il rendimento complessivo sia unitario, nonostante il fatto che ognuno dei due cicli abbia un rendimento nettamente inferiore: 0.096 per il ciclo superiore e 0.071 per il ciclo inferiore, se vengono impiegati due recuperatori separati.

La causa di questi valori così bassi di rendimento deriva proprio dalla separazione dei recuperatori di calore, la quale fa risultare un valore molto alto di ogni singolo QISOBAR.

Questa combinazione di cicli di Ericsson è reversibile, perché il programma ERIXREV individua quale sia l'isobara centrale che rende uguale a zero il bilancio di tutte le quattro isobare, tenendo conto che esse si svolgono in un recuperatore perfetto di calore comune ad entrambe.

È stata poi condotta una valutazione dell'andamento del rendimento "anomalo" del ciclo di Ericsson, con e senza recuperatore perfetto in funzione della pressione maggiore.

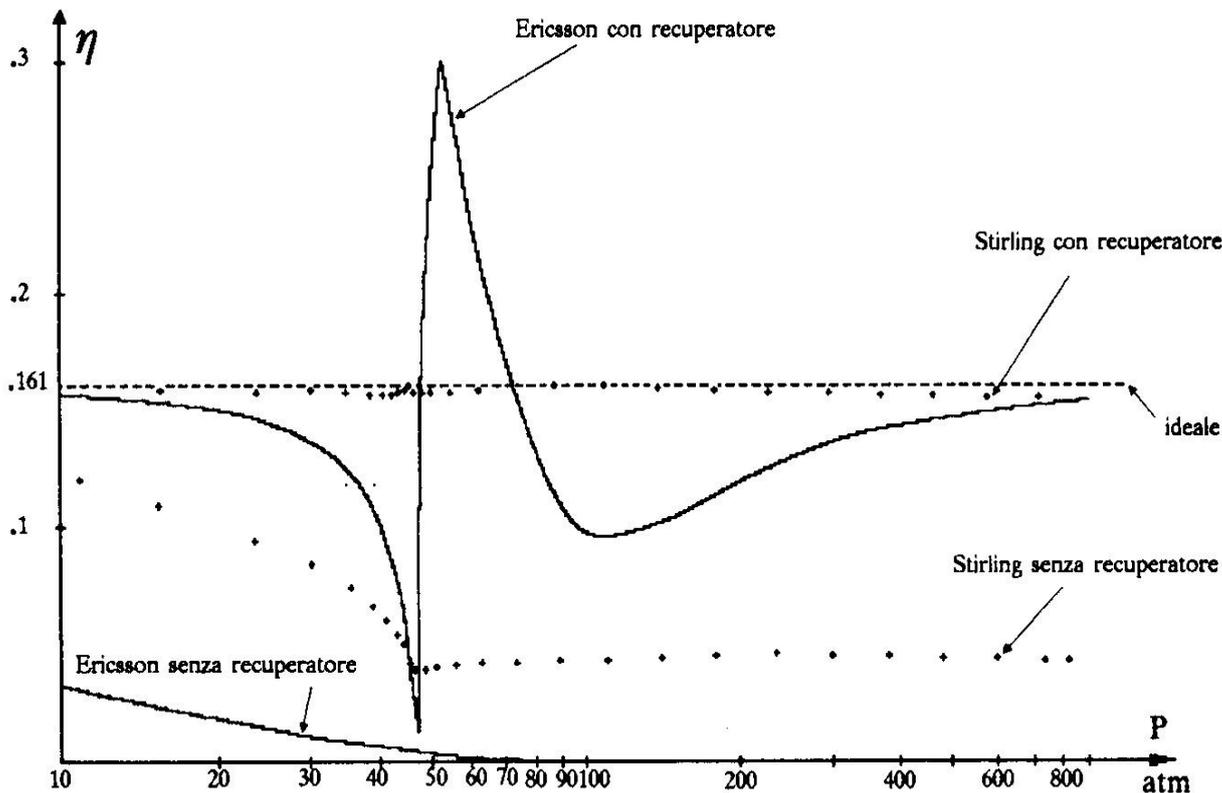


Fig. 11.8

La Figura 11.8, tratta dal libro citato dell'autore, mostra l'andamento del rendimento calcolato numericamente di un ciclo di Ericsson che l'Argo esegue tra 151 e 180 K, con un intervallo fisso di 1 atm tra le due isobare, in funzione del valore più alto di pressione.

Nella stessa Figura è riportato anche l'andamento del rendimento del ciclo di Stirling (sempre calcolato numericamente con il programma STIRLING), con e senza recuperatore perfetto di calore.

Come si può constatare, il grafico dell'andamento del valore calcolato numericamente del ciclo di Ericsson con recuperatore è molto bizzarro.

La parte più interessante del grafico è quella relativa al picco positivo, che raggiunge un valore massimo di rendimento che è quasi doppio rispetto a quello teorico tra le stesse temperature di funzionamento.

Successivamente, presi in considerazione le seguenti pubblicazioni:

NBS-TN-631; J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 15 n.2 (1986); V.A. Rabinovich et al. N.S.R.D.S. Of USSR, Hemisphere Publishing Co. (1988); J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 7 n.3 (1978); J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 16 n.4 (1987), le quali, come l'NBS-27, forniscono le dettagliate proprietà termodinamiche di Elio-4; Azoto; Kripto; Xenon; Ammoniaca; Metano; Etano; Propano; Isobutano; Normal Butano ed Etilene.

Le proprietà termodinamiche di queste sostanze pure consentono di individuare cicli di Ericsson con recuperatore perfetto di calore il cui rendimento massimo è notevolmente superiore (circa il doppio) rispetto a quello del corrispondente ciclo di CARNOT, purché il fluido si trovi sempre in fase gassosa e in vicinanza del suo Punto Critico.

È possibile ipotizzare che gli “anomali” valori di rendimento del ciclo di Ericsson nelle condizioni sopra specificate si possano spiegare con l'esistenza (sebbene non segnalata da nessuno) di qualche errore nel Lemma LE-1, oppure in uno dei Teoremi da esso derivati.

D'altra parte, la mancanza di una valida dimostrazione del teorema di CARNOT non consente più escludere l'esistenza di cicli termodinamici con rendimento superiore a quello stabilito da tale teorema.

Oltre a ciò, come è stato accennato in precedenza, c'è da dire che nel 1993 fui ingenuo nel ritenere che i dati contenuti nel NBS-27 e di altre pubblicazioni simili potessero essere utilizzati come base indiscutibile per calcolare il rendimento del ciclo di Ericsson con recuperatore di calore.

Affermando ciò, non intendo significare che detti dati siano errati, ma soltanto che essi sono stati ricavati nella presunzione che esista una dimostrazione condivisibile del teorema di CARNOT.

Innanzitutto, la scala termodinamica di temperatura contiene irrazionalità che potrebbero giustificare le “anomalie” sopra evidenziate.

Ciò è implicito in tutto il contenuto del NBS-27 e di tutte le altre opere analoghe, per il semplice fatto di esprimere le temperature in gradi Kelvin.

Siamo tutti d'accordo che la scala delle temperature è arbitraria, e quindi valutare le quantità di calore usando una certa scala invece che un'altra non dovrebbe comportare alcuna differenza.

Per il ciclo di CARNOT e per altri cicli termodinamici privi di recuperatore di calore, l'irrazionalità della scala di Kelvin potrebbe non comportare alcuna alterazione nel calcolo del rendimento fatto per via numerica.

Infatti, la teoria che sta alla base della scala di Kelvin prevede che qualunque macchina reversibile (in un senso ben preciso) sia in realtà una macchina di CARNOT.

Pertanto, anche se la predetta teoria derivante dal teorema di CARNOT è errata, ciò non impedisce che essa sia intrinsecamente coerente con se stessa, e quindi è ingenuo ritenere che la valutazione numerica del rendimento del ciclo di CARNOT, effettuata con i dati tabellari di cui sopra di altri cicli reversibili, possa dare un risultato diverso da quello previsto dalla teoria stessa.

Tuttavia, per cicli dotati di recuperatore di calore tutto ciò può non essere sempre vero.

Per calcolare il rendimento di tali cicli, infatti, bisogna introdurre considerazioni diverse da quelle che derivano dal teorema di CARNOT, nel quale il gas esegue esclusivamente trasformazioni reversibili in quanto in esse gli scambi di calore avvengono con differenze di temperature infinitesime.

Per i cicli con recuperatore di calore, invece, bisogna applicare la

disciplina dei calori latenti e specifici ad un dispositivo (il recuperatore di calore) che seppure fosse “perfetto”, potrebbe determinare al suo interno trasformazioni caratterizzate da differenze di temperatura **non infinitesime**.

Infatti, la “**perfezione**” del recuperatore perfetto di calore consiste soltanto nella sua capacità di rendere infinitesima la differenza di temperatura tra una sorgente principale di calore e il fluido che vi confluisce.

Si noti, al riguardo, che la dimostrazione del Lemma LE-1, e di tutti gli altri Corollari e Teoremi relativi al ciclo di Ericsson, **non** prevedono che le differenze di temperatura tra le sorgenti fittizie interne siano tutte infinitesime.

Pertanto, sarebbe necessario chiarire quali conseguenze la mancanza di una soddisfacente dimostrazione del teorema di CARNOT determini sui calcoli numerici relativi alle trasformazioni isobare contrapposte, quando esse sono realizzate con recuperatore perfetto di calore e si trovano in vicinanza del Punto Critico del Fluido.

All'epoca non feci questa verifica, e quindi, per tutte le ragioni qui esposte, la questione se sia vero che particolari cicli di Ericsson consentano un rendimento significativamente superiore a quello del corrispondente ciclo di CARNOT resta a mio avviso aperta.

Non ritengo, infatti, per tutte le ragioni qui esposte, che il Dott. Leonardo Chiatti, con la sua citata memoria del 2006, sia riuscito a dimostrare l'inesistenza dei predetti cicli a rendimento “anomalo”.

11.2 ISTRUZIONI

Nel seguito sono riportati i sei programmi in GW-BASIC citati in precedenza: CARNOT, CARNOTI, STIRLING, STIRREV, ERICSSON ed ERIXREV.

Il programma interprete GW-BASIC può funzionare con il vecchio

sistema operativo MS-DOS su un PC con architettura x86 a 16 bit.

Può funzionare anche su moderni computer, ricorrendo ad un programma simulatore, come ad esempio DOSBox, reperibile in rete.

Per farlo, bisogna ricopiare i testi dei programmi che seguono e salvarli in formato .txt.

ATTENZIONE ! GW-BASIC non tollera alcun errore di battitura.

A titolo di esempio, scambiare il punto (.) con la virgola, oppure scambiare zero (0) con la O maiuscola, o anche lasciare uno spazio bianco tra due lettere, sono operazioni che producono errore e impediscono il funzionamento.

Caricare dapprima GW-BASIC in una cartella del computer, poi caricare nella stessa cartella i sei programmi di cui sopra, altrimenti bisognerà specificare a GW-BASIC dove si trovano i programmi da eseguire.

Lanciare il programma eseguibile GW-BASIC. Al “*prompt*” OK, si può caricare il programma desiderato digitando f3, compare:

LOAD”

Completare il comando con il nome del programma desiderato (salvato nella stessa cartella in cui si trova GW-BASIC) seguito da virgolette (“).

Ad esempio, per caricare CARNOT:

LOAD“carnot.txt”

Dare INVIO.

Se il programma CARNOT viene caricato correttamente, compare il prompt OK.

Lanciare il programma caricato digitando f2. Compare RUN seguito dalla richiesta di digitare il valore più basso (espressa in mol/l) che

la densità del gas raggiunge nel corso del ciclo di CARNOT in Argo. Digitare il valore seguito da INVIO. Una volta che l'ultimo dato è stato inserito, il programma parte automaticamente.

Se non ci sono errori, il programma termina stampando sul monitor una tabella con i risultati.

11.3 PROGRAMMA CARNOT

1 REM PROGRAMMA CARNOT

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma CARNOT, calcola il rendimento di cicli di Carnot in ARGO

20 REM Esso utilizza le formule e i dati contenuti nella pubblicazione

30 REM "Thermodynamic Properties of Argon From the Triple Point to 300 K at

40 REM Pressures to 1000 Atmosph.", NSRDS-NBS 27, National Standard Reference

50 REM Data Series- National Bureau of Standards, 1969.

60 REM Il programma chiede i valori della densità di due punti di

70 REM una isoterma alla temperatura inferiore (TMIN), detti punti C e D sono

80 REM a densità diverse e C ha una densità RC maggiore di D che ha densità

90 REM RD. In seguito il programma chiede i valori di due temperature TMIN

100 REM e TMAX. Infine il programma chiede il numero N. Questo numero deve

110 REM essere PARI in quanto è utilizzato in una subroutine di

integrazione

120 REM che calcola il lavoro dei segmenti di isoterma del ciclo, mediante

130 REM il metodo di integrazione di Simpson. Aumentando N aumenta il numero

140 REM delle suddivisioni dell'intervallo di integrazione e la precisione

150 REM del calcolo aumenta. Valori tipici di N variano da 10 a 400. Dato che

160 REM le isoterme sono costituite da funzioni senza picchi o oscillazioni,

170 REM se l'intervallo di integrazione non è troppo grande, il valore 10

180 REM fornisce un ottimo compromesso tra velocit... di esecuzione e precisione.

190 REM In seguito il programma inizia il suo funzionamento e individua i due

200 REM punti C1 e D1 relativi alla temperatura superiore TMAX. Il punto C1

210 REM corrisponde al punto C nel senso che il percorso C-C1, che conduce

220 REM dalla temperatura inferiore a quella superiore deve corrispondere a

230 REM quello di una adiabatica reversibile. Analogamente il percorso D-D1

240 REM deve corrispondere ad una adiabatica reversibile.

250 REM In prima approssimazione ognuno di questi percorsi è considerato

260 REM rettilineo, quindi il relativo lavoro e' dato dall'area di un trapezio

270 REM rettangolo. In questa approssimazione l'adiabatica reversibile e'

280 REM individuata dalla uguaglianza tra il lavoro suddetto e il salto di

290 REM energia interna tra i punti estremi D1 e D per l'uno e C1 e C per

300 REM l'altro. Questo criterio e' operativo e viene usato per calcolare

310 REM i valori della densita' RD1 e RC1 di questi due punti, a meno di

320 REM un prefissato errore (0.0001). Questo errore viene ammesso sulla

330 REM differenza esistente tra DELTAU e AREAPROVA.

340 REM I dati N1,..,N16 sono i coefficienti della equazione di stato di cui

350 REM al NBS-27. I dati ST0, T0, CP0 ed H0 sono costanti specifiche

360 REM dell'Argon, sempre ricavate dal NBS-27; R e' la costante universale

370 REM dei gas. Inoltre la costante K converte (atm l/mol) in (J/mol)

380 REM la costante K1 converte (cm cubi/g) in (mol/l) mentre la costante K2

390 REM converte (atm cm cubi/g) in (J/mol).

400 REM Il programma utilizza quattro subroutine; la prima determina la

410 REM adiabatica reversibile, la seconda calcola l'energia interna
che

420 REM corrisponde ad una certa coppia di valori di densita' e
temperatura

430 REM la terza calcola il lavoro con il metodo di integrazione di
Simpson

440 REM e la quarta calcola la pressione.

450 REM Al termine del programma si calcola l'efficienza come
rapporto tra

460 REM il lavoro prodotto e il calore assorbito.

470 DEFDBL C-Y

480 REM inizio del programma; richiesta di digitare 5 valori.

490 INPUT "Digitare la densita'minore corrispondente a T=TMIN
(in mol/l)";RD

500 INPUT "Digitare la densita' maggiore corrispondente a T=TMIN
(in mol/l)";RC

510 INPUT "Digitare la temperatura maggiore TMAX (in
Kelvin)";TMAX

520 INPUT "Digitare la temperatura minore TMIN (in
Kelvin)";TMIN

530 REM Inizio dati relativi ai coefficienti della equazione di
Strobridge

540 REM per l'Argo

550 INPUT "Digitare un numero N (numero pari) per l'integrale di
Simpson";N

560 DATA 0.0025978374

570 DATA -0.89735867

580 DATA-67.273638
590 DATA -2649.4177
600 DATA 9763123.1
610 DATA 7.047856 E-05
620 DATA -0.0046767764
630 DATA 2.264077 E-06
640 DATA 481.41071
650 DATA 64565.346
660 DATA -11485282
670 DATA -0.64835488
680 DATA 465.24812
690 DATA 10933.578
700 DATA 6.943953 E-07
710 DATA 0.0048
720 REM Fine dati relativi ai coefficienti dell'equazione di
Strobridge.
730 REM Inizio dati relativi alle altre variabili utili al calcolo.
740 DATA 1.274859419
750 DATA 87.28
760 DATA 0.0820535
770 DATA 0.2051340787
780 DATA 93.80343206
790 DATA 101.3277599
800 DATA 25.03254231
810 DATA 4.047
820 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10

```
830 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
840 READ T0,R,CP0,H0,K,K1,K2
850 REM Inizio del calcolo
860 RO=RD:T=TMIN
870 GOSUB 2280
880 PD=P
890 GOSUB 2040
900 UD=U
910 HD=UD+PD/RD*K
920 GOSUB 2330
930 SD=S
940 RO=RC:T=TMIN
950 GOSUB 2280
960 PC=P
970 GOSUB 2040
980 UC=U
990 HC=UC+PC/RC*K
1000 GOSUB 2330
1010 SC=S
1020 PRINT "PRIMA ADIABATICA REVERSIBILE"
1030
T=TMAX:RMIN=RD:USUB=UD:PSUB=PD:RMAX=40:RX=RD
1040 GOSUB 1890
1050 RD1=RO:PD1=PPROVA:AREAD1D=AREAPROVA
1060 UD1=UPROVA:UD1D=DELTAU
1070 HD1=UD1+PD1/RD1*K
```

```
1080 GOSUB 2330
1090 SD1=S
1100 PRINT "SECONDA ADIABATICA REVERSIBILE"
1110
T=TMAX:RMIN=RC:USUB=UC:PSUB=PC:RMAX=40:RX=RC
1120 GOSUB 1890
1130 RC1=RO:PC1=PPROVA:AREACC1=-AREAPROVA
1140 UC1=UPROVA:UCC1=DELTAU
1150 HC1=UC1+PC1/RC1*K
1160 GOSUB 2330
1170 SC1=S
1180 REM inizio calcolo isoterma C1-D1
1190 V0=K1/RC1:V10=K1/RD1:T=TMAX
1200 GOSUB 2130
1210 LC1D1=SUM
1220 REM Inizio calcolo isoterma D-C
1230 V0=K1/RC:V10=K1/RD:T=TMIN
1240 GOSUB 2130
1250 LDC=-SUM
1260 REM Calcolo lavoro totale
1270 LTOT=LC1D1+LDC+AREACC1+AREAD1D
1280 REM Salti di energia interna
1290 UDC=UC-UD
1300 UC1D1=UD1-UC1
1310 UD1D=UD-UD1
1320 UCC1=UC1-UC
```

```

1330 REM Quantita' di calore
1340 QTMAX=LC1D1+UC1D1
1350 QTMIN=LDC+UDC
1360 PRINT
1370 PRINT "====Ciclo di CARNOT in ARGO (NBS-
27)====Programma CARNOT.===="
1380 IF TMIN<=150.86 THEN PRINT "ATTENZIONE:
TEMPERATURA < TEMPERATURA CRITICA"
1390 PRINT "Risultati tra T=";TMAX;"e T=";TMIN;"(Kelvin)"
1400 PRINT "per densita' comprese tra RC=";RC;"e
RD=";RD;"(mol/l)"
1410 PRINT
1420 EFFICIENCY=LTOT/QTMAX
1430 EFF=FIX(EFFICIENCY*1000)/1000
1440
PRINT,"EFF.CALCOLATA=";EFF,"EFF.TEORICA=";FIX(((TMA
X-TMIN)/TMAX)*1000)/1000
1450 PRINT
1460 PRINT "Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo"
1470 PRINT ," C1"," C"," D1"," D"
1480
AROC1=FIX(RC1*10000)/10000:AROC=FIX(RC*10000)/10000
1490
AROD1=FIX(RD1*10000)/10000:AROD=FIX(RD*10000)/10000
1500 PRINT "RO (mol/l)",AROC1,AROC,AROD1,AROD
1510
AVC1=FIX(K1/RC1*10000)/10000:AVC=FIX(K1/RC*10000)/100

```

```

00
1520
AVD1=FIX(K1/RD1*10000)/10000:AVD=FIX(K1/RD*10000)/100
00
1530 PRINT "V (cm 3/g)",AVC1,AVC,AVD1,AVD
1540
APRESSC1=FIX(PC1*100)/100:APRESSC=FIX(PC*100)/100
1550
APRESSD1=FIX(PD1*100)/100:APRESSD=FIX(PD*100)/100
1560
                                                    PRINT
"P(atm)",APRESSC1,APRESSC,APRESSD1,APRESSD
1570
ATEMPMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATEMPMIN=FIX(TMIN*
1000)/1000
1580
                                                    PRINT
"T(Kelvin)",ATEMPMAX,ATEMPMIN,ATEMPMAX,ATEMPMI
N
1590 AENTRC1=FIX(SC1*100)/100:AENTRC=FIX(SC*100)/100
1600 AENTRD1=FIX(SD1*100)/100:AENTRD=FIX(SD*100)/100
1610
PRINT"S(J/mol*K)",AENTRC1,AENTRC,AENTRD1,AENTRD
1620
PRINT"U(J/mol)",FIX(UC1*10)/10,FIX(UC*10)/10,FIX(UD1*10)/
10,FIX(UD*10)/10
1630 AENTLC1=FIX(HC1*10)/10:AENTLC=FIX(HC*10)/10
1640 AENTLD1=FIX(HD1*10)/10:AENTLD=FIX(HD*10)/10
1650 PRINT"H(J/mol)",AENTLC1,AENTLC,AENTLD1,AENTLD
1660 PRINT

```

```

1670 PRINT "Tabella degli scambi energetici dei vari rami del
ciclo"
1680 PRINT" C1-D1"," D1-D"," D-C"," C-C1","TOTALE"
1690 AVC1D1=FIX(LC1D1*100)/100
1700 AVD1D=FIX(AREAD1D*100)/100
1710 AVDC=FIX(LDC*100)/100
1720 AVCC1=FIX(AREACC1*100)/100
1730 AVTOT=FIX(LTOT*100)/100
1740
AVC1D1,AVD1D,AVDC,AVCC1,AVTOT;"L(J/mol)"
1750 AUC1D1=FIX(UC1D1*100)/100
1760 AUD1D=FIX(UD1D*100)/100
1770 AUDC=FIX(UDC*100)/100
1780 AUCC1=FIX(UCC1*100)/100
1790 AUTOT=FIX((UC1D1+UD1D+UDC+UCC1)*100)/100
1800 PRINT AUC1D1,AUD1D,AUDC,AUCC1,AUTOT;"Delta-
U(J/mol)"
1810 AQC1D1=FIX((LC1D1+UC1D1)*100)/100
1820 AQD1D=FIX((AREAD1D+UD1D)*100)/100
1830 AQDC=FIX((LDC+UDC)*100)/100
1840 AQCC1=FIX((AREACC1+UCC1)*100)/100
1850 AQTOT=FIX((QTMAX+QTMIN)*100)/100
1860
AQC1D1,AQD1D,AQDC,AQCC1,AQTOT;"Q(J/mol)"
1870 END
1880 REM Inizio subroutine per la determinazione di adiabatiche

```

reversibili

1890 RO=(RMAX+RMIN)/2

1900 GOSUB 2280

1910 PPROVA=P

1920 GOSUB 2040

1930 UPROVA=U

1940 DELTAU=USUB-UPROVA

1950 AREAPROVA=(PPROVA+PSUB)*(K1/RX-K1/RO)*K2/2

1960

PRINT"T=";T;"P=";P;"DELTAREA=";DELTAU+AREAPROVA

1970 IF ABS(DELTAU+AREAPROVA)>.0001 THEN 1980 ELSE
2020

1980 IF DELTAU>0 THEN 2010 ELSE 1990

1990 IF ABS(DELTAU)>AREAPROVA THEN 2000 ELSE 2010

2000 RMIN=RO:GOTO 1890

2010 RMAX=RO:GOTO 1890

2020 RETURN

2030 REM Inizio subroutine per calcolo energia interna.

2040
$$U=H_0-R*T+CP_0*(T-T_0)+RO*(N_2+2*N_3/T+3*N_4/T^2+5*N_5/T^4)$$

2050 ESPON=EXP(-N16*RO^2)

2060
$$U=U+(RO^2)*(N_7/2)-(1/2/N16)*(3*N_9/T^2+4*N_{10}/T^3+5*N_{11}/T^4)*ESPON$$

2070
$$U=U-(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N_{12}/T^2+4*N_{13}/T^3+5*N_{14}/T^4)*ESPON$$

2080

```

U=U+(RO^5)*(N15/5)+(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/
T^4)
2090 U=U+(1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)
2100 U=U*K
2110 RETURN
2120 REM inizio subroutine calcolo integrale di Simpson.
2130 HI=(V10-V0)/N
2140 RO=K1/V0
2150 GOSUB 2280
2160 SUM=P
2170 FOR A=1 TO N-1
2180 RO=K1/(V0+A*HI)
2190 GOSUB 2280
2200 Y=2*FIX(A/2)
2210 IF Y=A THEN SUM=SUM+2*P ELSE SUM=SUM+4*P
2220 NEXT A
2230 RO=K1/V10
2240 GOSUB 2280
2250 SUM=(SUM+P)*K2*HI/3
2260 RETURN
2270 REM inizio subroutine calcolo pressione.
2280
P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N
6*T+N7)+RO^4*N8*T
2290 P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)
2300          P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-

```

$N16*RO^2)+RO^6*N15$

2310 RETURN

2320 REM Inizio subroutine per il calcolo dell'entropia

2330 $S=ST0-R*LOG(RO*R*T/1)+CP0*LOG(T/T0)$

2340 $S=S+RO*(-N1+N3/T^2+2*N4/T^3+4*N5/T^5)$

2350 $S=S-(RO^2*(N6/2)+RO^3*(N8/3))$

2360 $S=S-(EXP(-N16*RO^2))*((2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/2/N16)$

2370 $S=S-(EXP(-N16*RO^2))*(RO^2/(2*N16)+1/(2*N16^2))*(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)$

2380 $S=S+(2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/(2*N16)$

2390 $S=S+(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)/(2*N16^2)$

2400 $S=S*K$

2410 RETURN

11.4 PROGRAMMACARNOTI

1 REM PROGRAMMA CARNOTI

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma CARNOTI, calcola il rendimento di cicli di Carnot in Argo.

20 REM Esso utilizza le formule e i dati contenuti nella pubblicazione

30 REM "Thermodynamic Properties of Argon From the Triple Point to 300 K at

40 REM Pressures to 1000 Atmosph.", NSRDS-NBS 27, National Standard Reference

50 REM Data Series- National Bureau of Standards, 1969.

60 REM Il programma chiede i valori della densita' di due punti di

70 REM una isoterma alla temperatura SUPERIORE (TMAX), detti
punti C1 e D1 sono

80 REM a densita' diverse, C1 ha densita' RC1 maggiore di D1 che
ha densita'

90 REM RD1. In seguito il programma chiede i valori di due
temperature TMIN

100 REM e TMAX. Infine il programma chiede il numero N. Questo
numero deve

110 REM essere PARI in quanto e' utilizzato in una subroutine di
integrazione

120 REM che calcola il lavoro dei segmenti di isoterma del ciclo,
mediante

130 REM il metodo di integrazione di Simpson. Aumentando N
aumenta il numero

140 REM delle suddivisioni dell'intervallo di integrazione e la
precisione

150 REM del calcolo aumenta. Valori tipici di N variano da 10 a
400. Dato che

160 REM le isoterme sono costituite da funzioni senza picchi o
oscillazioni,

170 REM se l'intervallo di integrazione non e' troppo grande, il
valore 10

180 REM fornisce un ottimo compromesso tra velocita'... di
esecuzione e precisione.

190 REM In seguito il programma inizia il suo funzionamento e
individua i due

200 REM punti C e D relativi alla temperatura INFERIORE TMIN.
Il punto C

210 REM corrisponde al punto C1 nel senso che il percorso C1-C,
che conduce

220 REM dalla temperatura SUPERIORE a quella INFERIORE
deve corrispondere a

230 REM quello di una adiabatica reversibile. Analogamente il
percorso D1-D

240 REM deve corrispondere ad una adiabatica reversibile.

250 REM In prima approssimazione ognuno di questi percorsi e'
considerato

260 REM rettilineo, quindi il relativo lavoro e' dato dall'area di un
trapezio

270 REM rettangolo. In questa approssimazione l'adiabatica
reversibile e'

280 REM individuata dalla uguaglianza tra il lavoro suddetto e il
salto di

290 REM energia interna tra i punti estremi D1 e D per l'uno e C1 e
C per

300 REM l'altro. Questo criterio e' operativo e viene usato per
calcolare

310 REM i valori della densita' RD e RC di questi due punti, a meno
di

320 REM un prefissato errore (0.0001). Questo errore viene
ammesso sulla

330 REM differenza esistente tra DELTAU e AREAPROVA.

340 REM I dati N1,..,N16 sono i coefficienti della equazione di stato
di cui

350 REM al NBS-27. I dati ST0, T0, CP0 ed H0 sono costanti specifiche

360 REM dell'Argon, sempre ricavate dal NBS-27; R e' la costante universale

370 REM dei gas. Inoltre la costante K converte (atm l/mol) in (J/mol)

380 REM la costante K1 converte (cm cubi/g) in (mol/l) mentre la costante K2

390 REM converte (atm cm cubi/g) in (J/mol).

400 REM Il programma utilizza quattro subroutine; la prima determina la

410 REM adiabatica reversibile, la seconda calcola l'energia interna che

420 REM corrisponde ad una certa coppia di valori di densita' e temperatura

430 REM la terza calcola il lavoro con il metodo di integrazione di Simpson

440 REM e la quarta calcola la pressione.

450 REM Al termine del programma si calcola l'efficienza come rapporto tra

460 REM il lavoro prodotto e il calore assorbito.

470 DEFDBL C-Y

480 REM Inizio del programma; richiesta di digitare 5 valori

490 INPUT"Digitare la densita'minore corrispondente a T=TMAX (in mol/l)";RD1

500 INPUT"Digitare la densita maggiore corrispondente a T=TMAX (in mol/l)";RC1

510 INPUT"Digitare la temperatura maggiore TMAX:(in

Kelvin)";TMAX

520 INPUT "Digitare la temperatura minore TMIN:(in Kelvin)";TMIN

530 REM Inizio dati relativi ai coefficienti della equazione di Strobridge

540 REM per l'Argo.

550 INPUT"Digitare un numero N intero e pari per l'integrale di Simpson";N

560 DATA 0.0025978374

570 DATA -0.89735867

580 DATA-67.273638

590 DATA -2649.4177

600 DATA 9763123.1

610 DATA 7.047856 E-05

620 DATA -0.0046767764

630 DATA 2.264077 E-06

640 DATA 481.41071

650 DATA 64565.346

660 DATA -11485282

670 DATA -0.64835488

680 DATA 465.24812

690 DATA 10933.578

700 DATA 6.943953 E-07

710 DATA 0.0048

720 REM Fine dei dati relativi ai coefficienti dell'equazione di Strobridge

```
730 REM Inizio dati relativi alle altre variabili utili al calcolo
740 DATA 1.274859419
750 DATA 87.28
760 DATA 0.0820535
770 DATA 0.2051340787
780 DATA 93.80343206
790 DATA 101.3277599
800 DATA 25.03254231
810 DATA 4.047
820 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
830 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
840 READ T0,R,CP0,H0,K,K1,K2
850 REM Calcolo delle caratteristiche dei punti dati.
860 RO=RD1:T=TMAX
870 GOSUB 2170
880 PD1=P
890 GOSUB 1930
900 UD1=U
901 HD1=UD1+PD1/RD1*K
902 GOSUB 2210
904 SD1=S
910 RO=RC1:T=TMAX
920 GOSUB 2170
930 PC1=P
940 GOSUB 1930
```

```

950 UC1=U
952 HC1=UC1+PC1/RC1*K
954 GOSUB 2210
956 SC1=S
960 PRINT "PRIMA ADIABATICA REVERSIBILE"
970
T=TMIN:RMIN=.0007:USUB=UD1:PSUB=PD1:RMAX=40:RX=
RD1
980 GOSUB 1780
990 RD=RO:PD=PPROVA:AREAD1D=AREAPROVA
1000 UD=UPROVA:UD1D=DELTAU
1002 HD=UD+PD/RD*K
1004 GOSUB 2210
1006 SD=S
1010 PRINT "SECONDA ADIABATICA REVERSIBILE"
1020
T=TMIN:RMIN=.0007:USUB=UC1:PSUB=PC1:RMAX=40:RX=R
C1
1030 GOSUB 1780
1040 RC=RO:PC=PPROVA:AREACC1=-AREAPROVA
1050 UC=UPROVA:UCC1=DELTAU
1052 HC=UC+PC/RC*K
1054 GOSUB 2210
1056 SC=S
1060 REM Inizio del calcolo della isoterma C1-D1
1070 V0=K1/RC1:V10=K1/RD1:T=TMAX

```

```

1080 GOSUB 2020
1090 LC1D1=SUM
1100 REM Inizio del calcolo della isoterma D-C
1110 V0=K1/RC:V10=K1/RD:T=TMIN
1120 GOSUB 2020
1130 LDC=-SUM
1140 REM Calcolo del lavoro totale
1150 LTOT=LC1D1+LDC+AREACC1+AREAD1D
1160 REM Salti di energia interna
1170 UDC=UC-UD
1180 UC1D1=UD1-UC1
1190 UD1D=UD-UD1
1200 UCC1=UC1-UC
1210 REM Calcolo delle quantit... di calore
1220 QTMAX=LC1D1+UC1D1
1230 QTMIN=LDC+UDC
1240 PRINT
1250 PRINT "====Ciclo di CARNOT in ARGON (NBS-
27)====programma CARNOTI.===="
1260 IF TMIN<=150.86 THEN PRINT "ATTENZIONE:
TEMPERATURA < TEMPERATURA CRITICA"
1270 PRINT "Risultati tra T=";TMAX;"e T=";TMIN;"(Kelvin)"
1280 ARC=FIX(RC*10000)/10000:ARD=FIX(RD*10000)/10000
1290 PRINT "per densita' comprese tra RC=";ARC;"e
RD=";ARD;"(mol/l)"
1300 PRINT

```

```

1310 REM Calcolo del rendimento
1320 EFFICIENCY=LTOT/QTMAX
1330 EFF=FIX(EFFICIENCY*1000)/1000
1340 EFFT=FIX(((TMAX-TMIN)/TMAX)*1000)/1000
1350 PRINT,"EFF.CALCOLATA=";EFF,"EFF.TEORICA=";EFFT
1360 PRINT
1370 PRINT "Tabella delle caratteristiche dei quattro punti estremi
del ciclo"
1390 PRINT , " C1"," C"," D1"," D"
1400
AROC1=FIX(RC1*10000)/10000:AROC=FIX(RC*10000)/10000
1410
AROD1=FIX(RD1*10000)/10000:AROD=FIX(RD*10000)/10000
1420 PRINT "RO (mol/L)",AROC1,AROC,AROD1,AROD
1430
AVC1=FIX(K1/RC1*10000)/10000:AVC=FIX(K1/RC*10000)/100
00
1440
AVD1=FIX(K1/RD1*10000)/10000:AVD=FIX(K1/RD*10000)/100
00
1450 PRINT "V (cm 3/g)",AVC1,AVC,AVD1,AVD
1460
APRESSC1=FIX(PC1*100)/100:APRESSC=FIX(PC*100)/100
1470
APRESSD1=FIX(PD1*100)/100:APRESSD=FIX(PD*100)/100
1480
PRINT
"P(atm)",APRESSC1,APRESSC,APRESSD1,APRESSD

```

1490

ATEMPMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATEMPMIN=FIX(TMIN*1000)/1000

1500

PRINT

"T(Kelvin)",ATEMPMAX,ATEMPMIN,ATEMPMAX,ATEMPMIN

1502 AENTRC1=FIX(SC1*100)/100:AENTRC=FIX(SC*100)/100

1504 AENTRD1=FIX(SD1*100)/100:AENTRD=FIX(SD*100)/100

1506

PRINT"S(J/mol*K)",AENTRC1,AENTRC,AENTRD1,AENTRD

1510 AUC1=FIX(UC1*10)/10:AUC=FIX(UC*10)/10

1520 AUD1=FIX(UD1*10)/10:AUD=FIX(UD*10)/10

1530 PRINT"U(J/mol)",AUC1,AUC,AUD1,AUD

1532 AENTLC1=FIX(HC1*10)/10:AENTLC=FIX(HC*10)/10

1534 AENTLD1=FIX(HD1*10)/10:AENTLD=FIX(HD*10)/10

1536 PRINT"H(J/mol)",AENTLC1,AENTLC,AENTLD1,AENTLD

1540 PRINT

1550 PRINT "Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo"

1560 PRINT" C1-D1"," D1-D"," D-C"," C-C1"," TOTALE"

1570 AVC1D1=FIX(LC1D1*100)/100

1580 AVD1D=FIX(AREAD1D*100)/100

1590 AVDC=FIX(LDC*100)/100

1600 AVCC1=FIX(AREACC1*100)/100

1610 AVTOT=FIX(LTOT*100)/100

1620

PRINT

AVC1D1,AVD1D,AVDC,AVCC1,AVTOT;"L(J/mol)"

```

1630 AUC1D1=FIX(UC1D1*100)/100
1640 AUD1D=FIX(UD1D*100)/100
1650 AUDC=FIX(UDC*100)/100
1660 AUCC1=FIX(UCC1*100)/100
1670 REM Somma di tutti i salti di energia interna
1680 AUTOT=FIX((UC1D1+UD1D+UDC+UCC1)*100)/100
1690 PRINT AUC1D1,AUD1D,AUDC,AUCC1,AUTOT;"Delta-
U(J/mol)"
1700 AQC1D1=FIX((LC1D1+UC1D1)*100)/100
1710 AQD1D=FIX((AREAD1D+UD1D)*100)/100
1720 AQDC=FIX((LDC+UDC)*100)/100
1730 AQCC1=FIX((AREACC1+UCC1)*100)/100
1740 AQTOT=FIX((QTMAX+QTMIN)*100)/100
1750
AQC1D1,AQD1D,AQDC,AQCC1,AQTOT;"Q(J/mol)"
1760 END
1770 REM Inizio subroutine di calcolo di adiabatiche reversibili
1780 RO=(RMAX+RMIN)/2
1790 GOSUB 2170
1800 PPROVA=P
1810 GOSUB 1930
1820 UPROVA=U
1830 DELTAU=UPROVA-USUB
1840 AREAPROVA=(PPROVA+PSUB)*(-K1/RX+K1/RO)*K2/2
1850
PRINT"P=";P;"areaprova=";AREAPROVA;"DELTAREA=";DELT

```

AU+AREAPROVA

1860 IF ABS(DELTAAU+AREAPROVA)>.0001 THEN 1870 ELSE
1910

1870 IF DELTAU>0 THEN 1900 ELSE 1880

1880 IF ABS(DELTAAU)>AREAPROVA THEN 1890 ELSE 1900

1890 RMAX=RO:GOTO 1780

1900 RMIN=RO:GOTO 1780

1910 RETURN

1920 REM Inizio della subroutine di calcolo della energia interna.

1930
$$U=H_0-R*T+CP_0*(T-T_0)+RO*(N_2+2*N_3/T+3*N_4/T^2+5*N_5/T^4)$$

1940 ESPON=EXP(-N16*RO^2)

1950
$$U=U+(RO^2)*(N_7/2)-(1/2/N16)*(3*N_9/T^2+4*N_{10}/T^3+5*N_{11}/T^4)*ESPON$$

1960
$$U=U-(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N_{12}/T^2+4*N_{13}/T^3+5*N_{14}/T^4)*ESPON$$

1970

$$U=U+(RO^5)*(N_{15}/5)+(1/2/N16)*(3*N_9/T^2+4*N_{10}/T^3+5*N_{11}/T^4)$$

1980
$$U=U+(1/2/N16^2)*(3*N_{12}/T^2+4*N_{13}/T^3+5*N_{14}/T^4)$$

1990 U=U*K

2000 RETURN

2010 REM Inizio della subroutine di calcolo dell'integrale di Simpson

2020 HI=(V10-V0)/N

2030 RO=K1/V0

```

2040 GOSUB 2170
2050 SUM=P
2060 FOR A=1 TO N-1
2070 RO=K1/(V0+A*HI)
2080 GOSUB 2170
2090 Y=2*FIX(A/2)
2100 IF Y=A THEN SUM=SUM+2*P ELSE SUM=SUM+4*P
2110 NEXT A
2120 RO=K1/V10
2130 GOSUB 2170
2140 SUM=(SUM+P)*K2*HI/3
2150 RETURN
2160 REM Inizio della subroutine di calcolo della pressione.
2170
P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N
6*T+N7)+RO^4*N8*T
2180 P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)
2190          P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-
N16*RO^2)+RO^6*N15
2200 RETURN
2210 REM ROUTINE PER IL CALCOLO DELLA ENTROPIA.
2220 S=ST0-R*LOG(RO*R*T/1)+CP0*LOG(T/T0)
2230 S=S+RO*(-N1+N3/T^2+2*N4/T^3+4*N5/T^5)
2240 S=S-(RO^2*(N6/2)+RO^3*(N8/3))
2250          S=S-(EXP(-
N16*RO^2))*((2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/2/N16)

```

2260 $S=S-(EXP(-N16*RO^2))*(RO^2/(2*N16)+1/(2*N16^2))*(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)$

2270 $S=S+(2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/(2*N16)$

2280 $S=S+(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)/(2*N16^2)$

2285 $S=S*K$

2290 RETURN

11.5 PROGRAMMA STIRLING

1 REM PROGRAMMA STIRLING

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma STIRLING per il rendimento di cicli di STIRLING in ARGO

20 REM Esso utilizza le formule e i dati contenuti nella pubblicazione NBS-27

30 REM Per avere altre informazioni sul funzionamento di questo programma

40 REM fare riferimento a quanto scritto all'inizio del programma CARNOT

50 REM nei primi 460 numeri di linea contenenti i REM. Ovviamente scartare

60 REM tutte le indicazioni relative alla adiabatica reversibile che sono

70 REM contenute in quei REM.

80 REM Al termine del calcolo il programma invia sul monitor una tabella.

90 REM Premendo il tasto (f5, cioè CONT) il programma invia alla stampante

```
100 REM una riga contenente il rendimento calcolato, quello teorico
110 REM quello senza recuperatore e il Delta-Q tra le due isocore.
120 DEFDBL B-Y
130 REM Inizio del programma; richiesta di digitare 5 valori
140 INPUT "Digitare la densita' maggiore (in mol/l)";RC
150 INPUT "Digitare la densita' minore (in mol/l)";RD
160 INPUT "Digitare la temperatura maggiore TMAX (in
Kelvin)";TMAX
170 INPUT "Digitare la temperatura minore TMIN (in
Kelvin)";TMIN
180 INPUT "Digitare il numero N intero e pari";N
190 DATA 0.0025978374
200 DATA -0.89735867
210 DATA -67.273638
220 DATA -2649.4177
230 DATA 9763123.1
240 DATA 7.047856 E-05
250 DATA -0.0046767764
260 DATA 2.264077 E-06
270 DATA 481.41071
280 DATA 64565.346
290 DATA -11485282
300 DATA -0.64835488
310 DATA 465.24812
320 DATA 10933.578
330 DATA 6.943953 E-07
```

340 DATA 0.0048
350 REM Fine dei dati relativi ai coefficienti dell'equazione di Strobbridge
360 REM Inizio dati relativi alle altre variabili utili al calcolo
370 DATA 1.274859419
380 DATA 87.28
390 DATA 0.0820535
400 DATA 0.2051340787
410 DATA 93.80343206
420 DATA 20.7081
430 DATA 5.64538
440 DATA 5.25032
450 DATA 3.29236
460 DATA 101.3277599
470 DATA 25.03254231
480 DATA 4.047
490 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
500 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
510 READ T0,R,CP0,H0,RA,RB,RF,RJ,K,K1,K2
520 ON ERROR GOTO 2090
530 REM Calcolo delle caratteristiche dei due punti dati del ciclo
540 RO=RC:T=TMIN
550 GOSUB 2050
560 PC=P
570 GOSUB 1810
580 UC=U

```
590 HC=UC+PC/RC*K
600 GOSUB 2100
610 SC=S
620 RO=RD
630 GOSUB 2050
640 PD=P
650 GOSUB 1810
660 UD=U
670 HD=UD+PD/RD*K
680 GOSUB 2100
690 SD=S
700 REM Calcolo delle caratteristiche degli altri due punti del ciclo
710 RO=RC:T=TMAX
720 GOSUB 2050
730 PC1=P
740 GOSUB 1810
750 UC1=U
760 HC1=UC1+PC1/RC*K
770 GOSUB 2100
780 SC1=S
790 RO=RD
800 GOSUB 2050
810 PD1=P
820 GOSUB 1810
830 UD1=U
```

```
840 HD1=UD1+PD1/RD*K
850 GOSUB 2100
860 SD1=S
870 REM Inizio del calcolo della isoterma D-C
880 V0=K1/RC
890 VN=K1/RD
900 T=TMIN
910 GOSUB 1900
920 LDC=-SUM*HI*K2/3
930 UDC=UC-UD
940 QDC=LDC+UDC
950 REM Inizio del calcolo della isoterma C1-D1
960 T=TMAX
970 GOSUB 1900
980 LC1D1=SUM*HI*K2/3
990 UC1D1=UD1-UC1
1000 QC1D1=LC1D1+UC1D1
1010 UCC1=UC1-UC
1020 QCC1=UC1-UC
1030 UD1D=UD-UD1
1040 QD1D=UD-UD1
1050 REM Calcolo di Delta-Q
1060 DELTAQ=QCC1+QD1D
1070 REM Calcolo del lavoro totale
1080 LTOT=LC1D1+LDC
```

```

1090 QMAX=QC1D1:QMIN=QDC
1100 REM Attribuzione di Delta-Q ad una o all'altra sorgente
1110 IF DELTAQ>0 THEN QMAX=QMAX+DELTAQ ELSE
QMIN=QMIN+DELTAQ
1120 REM Calcolo del rendimento con recuperatore perfetto
1130 EFFICIENCY=LTOT/QMAX
1140 EFFCARN=(TMAX-TMIN)/TMAX
1150 REM Calcolo delle quantit... di calore senza recuperatore
1160 QTMAX=QC1D1+QCC1
1170 QTMIN=QDC+QD1D
1180 EFFQMAX=(QTMAX+QTMIN)/QTMAX
1190 REM Calcolo del rendimento senza recuperatore
1200 EFFTMAX=LTOT/QTMAX
1210 EFFS=FIX(EFFTMAX*10000)/10000
1220 PRINT "=====Ciclo di STIRLING in ARGO
(NBS-27)====="
1230 IF TMIN<150.86 THEN PRINT"ATTENZIONE:
TEMPERATURA<TEMPERATURA CRITICA"
1240 PRINT "Risultati tra T=";TMAX;"e T=";TMIN;"(Kelvin)"
1250 RCX=FIX(RC*1000)/1000:RDX=FIX(RD*1000)/1000
1260 PRINT "per densita' comprese tra RC=";RCX;"e
RD=";RDX;"(mol/l)"
1270 DELTAQR=FIX((DELTAQ)*10000)/10000
1280 PRINT " ";DELTAQR;"Delta-Q tra le due
isocore=";DELTAQR;"(J/mol)"
1290 EFF=FIX(EFFICIENCY*10000)/10000

```

```

1300 EFFN=FIX(((TMAX-TMIN)/TMAX)*10000)/10000
1310          PRINT          "EFF.CALCOLATA=";EFF;"
EFF.TEORICA=";EFFN
1320 PRINT"EFF.senza recuperatore=";EFFS
1330 PRINT "Tabella delle caratteristiche dei quattro punti estremi
del ciclo"
1340 PRINT ," C1"," C"," D1"," D"
1350 AROC=FIX(RC*10000)/10000
1360 AROD=FIX(RD*10000)/10000
1370 PRINT "Dens.(mol/l)",AROC,AROC,AROD,AROD
1380 AVC=FIX(K1/RC*10000)/10000
1390 AVD=FIX(K1/RD*10000)/10000
1400 PRINT "V(cm-cubi/g)",AVC,AVC,AVD,AVD
1410
APRESSC1=FIX(PC1*100)/100:APRESSC=FIX(PC*100)/100
1420
APRESSD1=FIX(PD1*100)/100:APRESSD=FIX(PD*100)/100
1430          PRINT
"P(atm)",APRESSC1,APRESSC,APRESSD1,APRESSD
1440
ATEMPMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATEMPMIN=FIX(TMIN*
1000)/1000
1450          PRINT
"T(Kelvin)",ATEMPMAX,ATEMPMIN,ATEMPMAX,ATEMPMI
N
1460
PRINT"U(J/mol)",FIX(UC1*10)/10,FIX(UC*10)/10,FIX(UD1*10)/
10,FIX(UD*10)/10

```



```

1700 AQDC=FIX((LDC+UDC)*100)/100
1710 AQCC1=FIX((UCC1)*100)/100
1720 AQTOT=FIX((QTMAX+QTMIN)*100)/100
1730
AQC1D1,AQD1D,AQDC,AQCC1,AQTOT;"Q(J/mol)"
1740 PRINT
1750 END
1760 REM Routine di stampa dei risultati; Premere F5.
1770 RCF=FIX(RC*1000)/1000:RDF=FIX(RD*1000)/1000
1780
"RC=";RCF;"RD=";RDF;"Eff(R)=";EFF;"EFF(N)=";EFFN;"EFF(S.
R)=";EFFS;"DELTA-Q=";DELTAQR
1790 END
1800 REM Inizio della subroutine di calcolo della energia interna.
1810
U=H0-R*T+CP0*(T-
T0)+RO*(N2+2*N3/T+3*N4/T^2+5*N5/T^4)
1820 ESPON=EXP(-N16*RO^2)
1830
U=U+(RO^2)*(N7/2)-
(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/T^4)*ESPON
1840
U=U-
(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)*
ESPON
1850
U=U+(RO^5)*(N15/5)+(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/
T^4)
1860 U=U+(1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)
1870 U=U*K

```

1880 RETURN

1890 REM Inizio della subroutine di calcolo dell'integrale di Simpson.

1900 HI=(VN-V0)/N

1910 RO=K1/V0

1920 GOSUB 2050

1930 SUM=P

1940 FOR A=1 TO N-1

1950 RO=K1/(V0+A*HI)

1960 GOSUB 2050

1970 Z=2*FIX(A/2)

1980 IF Z=A THEN SUM=SUM+2*P ELSE SUM=SUM+4*P

1990 NEXT A

2000 RO=K1/VN

2010 GOSUB 2050

2020 SUM=SUM+P

2030 RETURN

2040 REM Inizio della subroutine di calcolo della pressione.

2050

$$P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N6*T+N7)+RO^4*N8*T$$

2060 $P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)$

2070 $P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-N16*RO^2)+RO^6*N15$

2080 RETURN

2090 STOP

2100 REM ROUTINE PER IL CALCOLO DELLA ENTROPIA.

2110 $S=ST0-R*\text{LOG}(RO*R*T/1)+CP0*\text{LOG}(T/T0)$

2120 $S=S+RO*(-N1+N3/T^2+2*N4/T^3+4*N5/T^5)$

2130 $S=S-(RO^2*(N6/2)+RO^3*(N8/3))$

2140 $S=S-(\text{EXP}(-N16*RO^2))*((2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/2/N16)$

2150 $S=S-(\text{EXP}(-N16*RO^2))*(RO^2/(2*N16)+1/(2*N16^2))*(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)$

2160 $S=S+(2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/(2*N16)$

2170 $S=S+(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)/(2*N16^2)$

2180 $S=S*K$

2190 RETURN

11.6 PROGRAMMA *STIRREV*

1 REM PROGRAMMA STIRREV

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma STIRREV per la determinazione di cicli di Stirling in ARGO

20 REM adiacenti tra due temperature, tali da essere complessivamente

30 REM reversibili se impiegano un recuperatore di calore perfetto e comune

40 REM alle quattro isobare dei due cicli. Il programma chiede i valori delle

50 REM due temperature di funzionamento e due valori di densit..., espressi

60 REM in J/mol, che siano compresi tra quelli ammessi nella

pubblicazione

70 REM NBS-27. Quindi cerca un terzo valore di densit...,
intermedio tra i due

80 REM valori dati, tale che i due cicli di Stirling adiacenti che esso

90 REM determina, abbiano delle isocore con valori per le rispettive

100 REM quantit... di calore, da formare una somma algebrica
nulla.

110 REM Questa somma algebrica \checkmark chiamata QISOCOR e pu•
eesere considerata

120 REM composta di due termini: QISOCORS e QISOCORD. Il
primo \checkmark relativo

130 REM al ciclo di sinistra e il secondo al ciclo di destra. Essi

140 REM rappresentano, a loro volta, la somma algebrica delle due
quantita'

150 REM di calore isocore di ogni ciclo. Il programma richiede
anche di

160 REM immettere il numero intero e pari N che rappresenta il
numero di

170 REM di intervalli in cui si vuole dividere l'intervallo di
integrazione

180 REM delle isoterme reversibili, per calcolarne il lavoro.

190 DEFDBL C-X

200 INPUT"Immettere il valore di densita' maggiore RA in
J/mol";RA

210 INPUT"Immettere il valore di densita' minore RF in J/mol";RF

220 INPUT"Immettere il valore della temperatura maggiore TMAX
in K";TMAX

```
230 INPUT"Immettere il valore della temperatura minore TMIN in
K";TMIN
240 IF TMIN<= 150.86 THEN PRINT"ERRORE: AUMENTARE
TMIN":END
250 INPUT"Immettere il numero intero e pari N per l'integrale di
Simpson";N
260 DATA 0.0025978374
270 DATA -0.89735867
280 DATA-67.273638
290 DATA -2649.4177
300 DATA 9763123.1
310 DATA 7.047856 E-05
320 DATA -0.0046767764
330 DATA 2.264077 E-06
340 DATA 481.41071
350 DATA 64565.346
360 DATA -11485282
370 DATA -0.64835488
380 DATA 465.24812
390 DATA 10933.578
400 DATA 6.943953 E-07
410 DATA 0.0048
420 DATA 1.274859419
430 DATA 87.28
440 DATA 0.0820535
450 DATA 0.2051340787
```

460 DATA 93.80343206
470 DATA 101.3277599
480 DATA 25.03254231
490 DATA 4.047
500 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
510 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
520 READ T0,R,CP0,H0,K,K1,K2
530 REM Inizio della determinazione delle caratteristiche dei punti
dati
540 RO=RA:T=TMIN
550 GOSUB 3260
560 PA=P
570 GOSUB 3030
580 UA=U
590 HA=UA+PA/RA*K
600 VA=K1/RA
610 GOSUB 3310
620 SA=S
630 RO=RF
640 GOSUB 3260
650 PF=P
660 GOSUB 3030
670 UF=U
680 HF=UF+PF/RF*K
690 VF=K1/RF
700 GOSUB 3310

710 SF=S
720 RO=RA:T=TMAX
730 GOSUB 3260
740 PA1=P
750 GOSUB 3030
760 UA1=U
770 HA1=UA1+PA1/RA*K
780 VA1=K1/RA
790 GOSUB 3310
800 SA1=S
810 RO=RF
820 GOSUB 3260
830 PF1=P
840 GOSUB 3030
850 UF1=U
860 HF1=UF1+PF1/RF*K
870 VF1=K1/RF
880 GOSUB 3310
890 SF1=S
900 REM Fine della determinazione delle caratteristiche dei punti
dati
910 REM Predisposizione dei limiti di ricerca
920 VMIN=VA
930 VPROVA0=VMIN
940 VMAX=VF
950 VPROVA2=VMAX

```

960 REM Inizio della ricerca di QISOCOR=0
970 QISOCOR=1
980 WHILE QISOCOR
990 VPROVA1=(VPROVA2+VPROVA0)/2
1000 T=TMAX
1010 RO=K1/VPROVA1
1020 GOSUB 3030
1030 USUP=U
1040 T=TMIN
1050 GOSUB 3030
1060 UINF=U
1070 DELTAU1=UA1-UA+UF1-UF+2*(UINF-USUP)
1080 QISOCOR=FIX(DELTAU1*10)
1090 IF QISOCOR>0 THEN VPROVA2=VPROVA1 ELSE
VPROVA0=VPROVA1
1100 PRINT"DELTAU1=";DELTAU1
1110 IF DELTAU1=DELTAU THEN SIGNAL=1 ELSE
DELTAU=DELTAU1
1120 IF SIGNAL=1 THEN GOTO 1150
1130 WEND
1140 GOTO 1360
1150 SIGNAL1=1:VPROVA0=VMIN
1160 VPROVA2=VMAX
1170 QISOCOR2=1
1180 WHILE QISOCOR2
1190 VPROVA1=(VPROVA2+VPROVA0)/2

```

```
1200 T=TMAX
1210 RO=K1/VPROVA1
1220 GOSUB 3030
1230 USUP=U
1240 T=TMIN
1250 GOSUB 3030
1260 UINF=U
1270 DELTAU4=UA1-UA+UF1-UF+2*(UINF-USUP)
1280 QISOCOR2=FIX(DELTAAU4*10)
1290 IF QISOCOR2<0 THEN VPROVA2=VPROVA1 ELSE
VPROVA0=VPROVA1
1300 IF DELTAU4=DELTAAU3 THEN SIGNAL2=1 ELSE
DELTAAU3=DELTAAU4
1310 IF SIGNAL2=1 THEN GOTO 3410 ELSE
PRINT"DELTAAU4=";DELTAAU4
1320 WEND
1330 QISOCOR=QISOCOR2
1340 REM Fine della ricerca di QISOCOR=0
1350 REM Determinazione delle caratteristiche dei punti M e M1
trovati
1360 UM1=USUP:UM=UINF
1370 GOSUB 3260:PM=P
1380 RM=RO:VM=K1/RM
1390 HM=UM+PM/RM*K
1400 GOSUB 3310
1410 SM=S
```

```

1420 T=TMAX
1430 GOSUB 3260:PM1=P
1440 RM1=RO:VM1=K1/RM1
1450 HM1=UM1+PM1/RM1*K
1460 GOSUB 3310
1470 SM1=S
1480 REM fine della determinazione delle caratteristiche di M e M1
1490 PRINT"QISOCOR=";QISOCOR
1500 REM Inizio predisposizione degli integrali di Simpson per le 4
isoterme
1510 HIM=(VMAX-VMIN)/N
1520 AP0=FIX((VPROVA1-VMIN)/HIM)
1530 IF AP0=0 THEN 3300
1540 AP1=2*FIX(AP0/2)
1550 IF AP1=AP0 THEN N(0)=AP0 ELSE N(0)=AP0+1
1560 N(1)=2*N-N(0)
1570 REM Z determina il ciclo: Z=0 per ciclo SINISTRO, Z=1 per
ciclo DESTRO
1580 FOR Z=0 TO 1
1590 IF Z=0 THEN HI=(VPROVA1-VMIN)/N(0) ELSE
HI=(VMAX-VPROVA1)/N(1)
1600 IF Z=0 THEN VIN=VMIN ELSE VIN=VPROVA1
1610 IF Z=0 THEN VFIN=VPROVA1 ELSE VFIN=VMAX
1620 T(0)=TMIN
1630 T(1)=TMAX
1640 REM Inizio del calcolo delle quattro isoterme

```

```

1650 REM B determina l'isoterma: B=0 isoterma inferiore, B=1
isoterma superiore
1660 FOR B=0 TO 1
1670 T=T(B)
1680 GOSUB 3120
1690 SUM(Z,B)=SUM
1700 RO=K1/VIN
1710 GOSUB 3030
1720 UIN=U
1730 RO=K1/VFIN
1740 GOSUB 3030
1750 UFIN=U
1760 U(Z,B)=UFIN-UIN
1770 Q(Z,B)=SUM(Z,B)+U(Z,B)
1780 NEXT B
1790 NEXT Z
1800 LTOT=SUM(0,1)+SUM(1,0)-SUM(0,0)-SUM(1,1)
1810 IF LTOT<0 THEN SIGNAL1=1
1820 QTMAX=Q(0,1)-Q(1,1)
1830 QTMIN=-Q(0,0)+Q(1,0)
1840 EFFSIST=LTOT/QTMAX:PRINT"EFFSIST=";EFFSIST
1850 EFFCARN=(T(1)-T(0))/T(1)
1860 PRINT
1870 REM Fine del calcolo delle quattro isoterme
1880 GOTO 2040
1890 REM deve invertire il funzionamento dei due cicli, per cui, in

```

base

1900 REM ai teoremi sulle combinazioni di cicli di Stirling, si deve sommare

1910 REM QISOCORD al calore spettante alla sorgente calda, dato che in tali

1920 REM condizioni QISOCORD cambia di segno e diventa positivo.

1930 REM Determinazione delle caratteristiche del sistema complesso

1940
 $AQTMAX=FIX(QTMAX*1000)/1000:AQTMIN=FIX(QTMIN*1000)/1000$

1950 PRINT"Calore scambiato con la sorgente calda=";AQTMAX;"(J/mol)"

1960 PRINT"Calore scambiato con la sorgente fredda=";AQTMIN;"(J/mol)"

1970 ALTOT=FIX(LTOT*100)/100

1980 PRINT"Lavoro totale del sistema come riportato=";ALTOT

1990 AEFFSIST=FIX(EFFSIST*10000)/10000

2000 PRINT"Efficienza totale come MOTORE=";AEFFSIST;"Premere F5"

2010 STOP

2020 PRINT

2030 PRINT

2040 PRINT

2050 REM Inizio della formattazione dei dati da inviare sul monitor

2060 PRINT"*====Cicli di Stirling contrapposti in ARGO; dati del

NBS-27=====*

2070 PRINT"Risultati tra T=";TMAX;"e";TMIN;"e
densita'tra";RA;"e";RF;"(mol/l)"

2080 IF SIGNAL1=0 THEN GOTO 2100

2090 PRINT"IL SISTEMA COSTITUITO DAI DUE CICLI
PRODUCE LAVORO SE IL CICLO SINISTRO
E'USATO COME FRIGORIFERO E IL CICLO DESTRO COME
MOTORE"

2100 PRINT"Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo
SINISTRO"

2110 PRINT," A"," A1"," M"," M1"

2120

ARA=FIX(RA*100)/100:ARA1=ARA:ARM=FIX(RM*100)/100:A
RM1=ARM

2130 PRINT"dens(mol/l)",ARA,ARA1,ARM,ARM1

2140

AVA=FIX(VA*100)/100:AVA1=AVA:AVM=FIX(VM*100)/100:
AVM1=AVM

2150 PRINT"v(l/kg)",AVA,AVA1,AVM,AVM1

2160 APA=FIX(PA*100)/100:APA1=FIX(PA1*100)/100

2170 APM=FIX(PM*100)/100:APM1=FIX(PM1*100)/100

2180 PRINT"P(atm)",APA,APA1,APM,APM1

2190

ATMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATMIN=FIX(TMIN*1000)/100
0

2200 PRINT"T(K)",ATMIN,ATMAX,ATMIN,ATMAX

2210 AUA=FIX(UA*100)/100:AUA1=FIX(UA1*100)/100

2220 AUM=FIX(UM*100)/100:AUM1=FIX(UM1*100)/100

```

2230 PRINT"U(J/mol)",AUA,AUA1,AUM,AUM1
2240 ASA=FIX(SA*100)/100:ASA1=FIX(SA1*100)/100
2250 ASM=FIX(SM*100)/100:ASM1=FIX(SM1*100)/100
2260 PRINT"S(J/mol*K)",ASA,ASA1,ASM,ASM1
2270 AHA=FIX(HA*100)/100:AHA1=FIX(HA1*100)/100
2280 AHM=FIX(HM*100)/100:AHM1=FIX(HM1*100)/100
2290 PRINT"H(J/mol)",AHA,AHA1,AHM,AHM1
2300 PRINT"Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo
SINISTRO"
2310 PRINT" A-A1"," A1-M1"," M1-M"," M-A"," TOTALE"
2320 LA1M1=SUM(0,1):LMA=-SUM(0,0)
2330
ALA1M1=FIX(LA1M1*100)/100:ALMA=FIX(LMA*100)/100
2340 LTOTS=LA1M1+LMA
2350 ALTOTS=FIX(LTOTS*100)/100
2360 PRINT 0,ALA1M1,O,ALMA,ALTOTS;"L(J/mol)"
2370          UAA1=UA1-UA:UA1M1=UM1-UA1:UM1M=UM-
UM1:UMA=UA-UM
2380
AUAA1=FIX(UAA1*100)/100:AUA1M1=FIX(UA1M1*100)/100
2390
AUM1M=FIX(UM1M*100)/100:AUMA=FIX(UMA*100)/100
2400 DELTAUS=(UA1-UA)+(UM1-UA1)+(UM-UM1)+(UA-UM)
2410 ADELTAUS=FIX(DELTAUS*10000)/10000
2420
                                                    PRINT
AUAA1,AUA1M1,AUM1M,AUMA,ADELTAUS;"Delta-U
(J/mol)"

```

```

2430      QAA1=UAA1:QA1M1=Q(0,1):QM1M=UM1M:QMA=-
Q(0,0)
2440
AQAA1=FIX(QAA1*100)/100:AQA1M1=FIX(QA1M1*100)/100
2450
AQM1M=FIX(QM1M*100)/100:AQMA=FIX(QMA*100)/100
2460 QTOTS=Q(0,1)-Q(0,0)+UAA1+UM1M
2470 AQTOTS=FIX(QTOTS*100)/100
2480
                                                    PRINT
AQAA1,AQA1M1,AQM1M,AQMA,AQTOTS;"Q(J/mol)"
2490 QISOS=QAA1+QM1M
2500 QISOCORS=FIX(QISOS*100)/100
2510 PRINT"                QISOCORS=Q(A-A1)+Q(M1-
M)=";QISOCORS;"(J/mol)"
2520 QCALDDX=QA1M1:QFREDDX=QMA
2530      IF                QISOCORS>=0                THEN
QCALDDX=QCALDDX+QISOCORS                ELSE
QFREDDX=QFREDDX+QISOCORS
2540 AEFFSIN=FIX((ALTOTS/QCALDDX)*10000)/10000
2550 PRINT"Efficienza ideale di Carnot=";EFFCARN
2560      PRINT"Efficienza del ciclo sinistro con
recuperatore=";AEFFSIN;"Premi F5"
2570 STOP
2580 PRINT".....Caratteristiche dei 4 punti del ciclo
DESTRO....."
2590 PRINT," M"," M1"," F"," F1"
2600 ARF=FIX(RF*100)/100:ARF1=FIX(RF*100)/100

```

2610 PRINT"Dens.(mol/l)",ARM,ARM1,ARF,ARF1
 2620 AVF=FIX(VF*100)/100:AVF1=FIX(VF*100)/100
 2630 PRINT"v(l/kg)",AVM,AVM1,AVF,AVF1
 2640 APF=FIX(PF*100)/100:APF1=FIX(PF1*100)/100
 2650 PRINT"P(atm)",APM,APM1,APF,APF1
 2660 PRINT"T(K)",TMIN,TMAX,TMIN,TMAX
 2670 AUF=FIX(UF*100)/100:AUF1=FIX(UF1*100)/100
 2680 PRINT"U(J/mol)",AUM,AUM1,AUF,AUF1
 2690 ASF=FIX(SF*100)/100:ASF1=FIX(SF1*100)/100
 2700 PRINT"S(J/mol*K)",ASM,ASM1,ASF,ASF1
 2710 AHF=FIX(HF*100)/100:AHF1=FIX(HF1*100)/100
 2720 PRINT"H(J/mol)",AHM,AHM1,AHF,AHF1
 2730 PRINT"Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo DESTRO"
 2740 PRINT" F-F1"," F1-M1"," M1-M"," M-F"," TOTALE"
 2750 LF1M1=-SUM(1,1):LMF=SUM(1,0)
 2760 ALF1M1=FIX(LF1M1*100)/100:ALMF=FIX(LMF*100)/100
 2770 LTOTD=LF1M1+LMF
 2780 ALTOTD=FIX(LTOTD*100)/100
 2790 PRINT 0,ALF1M1,0,ALMF,ALTOTD;"L(J/mol)"
 2800 UF1M1=UM1-UF1:UMF=UF-UM:UFF1=UF1-UF
 2810
 AUF1M1=FIX(UF1M1*100)/100:AUMF=FIX(UMF*100)/100:AUFF1=FIX(UFF1*100)/100
 2820 DELTAUD=UF1M1+UM1M+UMF+UFF1
 2830 ADELTAUD=FIX(DELTAUD*100)/100

```

2840                                                    PRINT
AUFF1,AUF1M1,AUM1M,AUMF,ADELTAUD;"Delta-U(J/mol)"
2850 QF1M1=-Q(1,1):QMF=Q(1,0):QFF1=UFF1
2860
AQF1M1=FIX(QF1M1*100)/100:AQMF=FIX(QMF*100)/100:AQ
FF1=FIX(QFF1*100)/100
2870 QTOTD=QM1M+QMF+QFF1+QF1M1
2880 AQTOTD=FIX(QTOTD*100)/100
2890                                                    PRINT
AQFF1,AQF1M1,AQM1M,AQMF,AQTOTD;"Q(J/mol)"
2900 QISOD=QM1M+QFF1
2910 QISOCORD=FIX(QISOD*100)/100
2920 PRINT"                QISOCORD=Q(M1-M)+Q(F-
F1)=";QISOCORD;"(J/mol)"
2930 REM se QISOCORD<0 dovrebbe essere sommato al calore
della sorgente fredda
2940 REM ma per calcolare l'efficienza come motore di tutto il
sistema, si
2950 QCALDSIN=QF1M1:QFREDSIN=QMF
2960 IF QISOD<=0 THEN QCALDSIN=QCALDSIN+QISOD
ELSE QFREDSIN=QFREDSIN+QISOD
2970 AEFDEX=FIX((ALOTD/QCALDSIN)*10000)/10000
2980 PRINT"Efficienza ciclo destro (come motore) con
recuperatore=";AEFFDEX
2990 PRINT"PROPRIETA' DEL SISTEMA COMPLESSO CON
RECUPERATORE COMUNE PER LE 4 ISOCORE"
3000 GOTO 1930

```

```

3010 END
3020 REM Inizio della subroutine per l'energia interna
3030                                     U=H0-R*T+CP0*(T-
T0)+RO*(N2+2*N3/T+3*N4/T^2+5*N5/T^4)
3040                                     U=U+(RO^2)*(N7/2)-
(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)
3050                                     U=U-
(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)*
EXP(-N16*RO^2)
3060
U=U+(RO^5)*(N15/5)+(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/
T^4)
3070 U=U+(1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)
3080 U=U*K
3090 REM Fine della subroutine per l'energia interna
3100 RETURN
3110 REM Inizio della subroutine per l'integrale di Simpson
3120 RO=K1/VIN
3130 GOSUB 3260
3140 SUM=P
3150 FOR A=1 TO N(Z)-1
3160 RO=K1/(VIN+A*HI)
3170 GOSUB 3260
3180 Y=2*FIX(A/2)
3190 IF Y=A THEN SUM=SUM+2*P ELSE SUM=SUM+4*P
3200 NEXT A
3210 RO=K1/VFIN

```

```

3220 GOSUB 3260
3230 SUM=(SUM+P)*K2*HI/3
3240 REM Fine della subroutine dell'integrale di Simpson
3250 RETURN
3260
P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N
6*T+N7)+RO^4*N8*T
3270 P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)
3280          P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-
N16*RO^2)+RO^6*N15
3290 RETURN
3300 PRINT"ERRORE: AUMENTARE IL VALORE DI N":STOP
3310 REM ROUTINE PER IL CALCOLO DELLA ENTROPIA.
3320 S=ST0-R*LOG(RO*R*T/1)+CP0*LOG(T/T0)
3330 S=S+RO*(-N1+N3/T^2+2*N4/T^3+4*N5/T^5)
3340 S=S-(RO^2*(N6/2)+RO^3*(N8/3))
3350          S=S-(EXP(-
N16*RO^2))*((2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/2/N16)
3360          S=S-(EXP(-
N16*RO^2))*(RO^2/(2*N16)+1/(2*N16^2))*(2*N12/T^3+3*N13/
T^4+4*N14/T^5)
3370 S=S+(2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/(2*N16)
3380 S=S+(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)/(2*N16^2)
3390 S=S*K
3400 RETURN
3410 PRINT"ERRORE: IL PROGRAMMA NON CONVERGE
VERSO ALCUN RISULTATO"

```

3420 STOP

11.7 PROGRAMMA *ERICSSON*

1 REM PROGRAMMA ERICSSON

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma ERICSSON per la efficienza di cicli di Ericsson in ARGO

20 REM sia con recuperatore che senza recuperatore.

30 REM Questo programma utilizza le formule della pubblicazione

40 REM NSRDS-NBS-27, "Thermodynamic Properties of Argon from the Triple

50 REM Point to 300 K at Pressures to 1000 Atmospheres", Gosman et al, 1969.

60 REM Inserire nell'ordine PE,PK,TMAX,TMIN,N.

70 REM PE=pressione isobara maggiore; PK=pressione isobara minore, in (atm)

80 REM TMAX=temperatura maggiore; TMIN=temperatura minore, in (K)

90 REM N=numero pari utilizzato dalla subroutine di integrazione;

100 REM N=numero di segmenti in cui l'intervallo di integrazione e' diviso;

110 REM Al crescere di N la precisione degli integrali definiti aumenta;

120 REM Valori tipici di N sono compresi tra 10 e 400.

130 REM Il programma calcola densita' e energia interna dei quattro punti

140 REM estremi del ciclo; per ogni segmento del ciclo calcola poi:

150 REM il lavoro (con il metodo di integrazione di Simpson), il

salto

160 REM di energia interna, il calore. Poi calcola il lavoro totale
LTOT

170 REM la quantita' di calore residuo tra le isobare (QISOBAR),
infine

180 REM attribuisce questa quantita' alla sorgente calda se positiva,
o

190 REM alla sorgente fredda se negativa. Si individuano cosi' le
quantita'

200 REM di calore QTMAX e QTMIN che le due sorgenti
scambiano.

210 REM Inoltre calcola il rendimento come rapporto tra LTOT e
QTMAX

220 REM calcola poi il rendimento ideale di Carnot.

230 REM Infine viene calcolato il rendimento nel caso in cui non si
utilizza

240 REM un recuperatore di calore.

250 REM RMAX e RMIN sono i valori estremi di densita' entro cui
il programma

260 REM funziona. Questo intervallo copre un vasto campo di
pressioni.

270 REM I quattro punti estremi del ciclo sono individuati a meno
di un

280 REM errore sulla pressione di 1/1000 (vedi definizione di
DELTAP)

290 DEFDBL B-Y

300 INPUT"Pressione maggiore PE (atm):";PE

310 INPUT"Pressione minore PK (atm):";PK

```
320 INPUT"Temperatura maggiore TMAX (K):";TMAX
330 INPUT"Temperatura minore TMIN (K):";TMIN
340 INPUT"Numero intero N, esclusivamente PARI (da 10 a 400
circa):";N
350 REM
360 REM Costanti utilizzate dal programma e tratte dal NBS-27
370 REM da N1 a N16 sono compresi i coefficienti della equazione
di stato;
380 REM ST0, H0, CP0, T0, sono valori caratteristici dell'argon;
390 REM R e' la costante universale dei gas
400 REM K, K1, K2 sono dei fattori di conversione calcolati
410 REM K trasforma (atm l/mol) in (J/g)
420 REM K1 trasforma (cm cubi/g) in (mol/l)
430 REM K2 converte (atm cm cubi/g) in (J/mol)
440 REM
450 DATA 0.0025978374
460 DATA -0.89735867
470 DATA -67.273638
480 DATA -2649.4177
490 DATA 9763123.1
500 DATA 7.047856 E-05
510 DATA -0.0046767764
520 DATA 2.264077 E-06
530 DATA 481.41071
540 DATA 64565.346
550 DATA -11485282
```

560 DATA -0.64835488
570 DATA 465.24812
580 DATA 10933.578
590 DATA 6.943953 E-07
600 DATA 0.0048
610 DATA 1.274859419
620 DATA 87.28
630 DATA 0.0820535
640 DATA 0.2051340787
650 DATA 93.80343206
660 DATA 101.3277599
670 DATA 25.03254231
680 DATA 4.047
690 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
700 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
710 READ T0,R,CP0,H0,K,K1,K2
720 REM
730 REM Inizio del calcolo di RE1, densita' che corrisponde al
punto a pressione
740 REM maggiore PE e temperatura maggiore TMAX; al termine
se ne calcola anche
750 REM il valore di energia interna UE1.
760 REM
770 T=TMAX
780 RMAX=35:RMIN=.0007
790 DELTAP=1

```

800 WHILE DELTAP
810 RO=(RMAX+RMIN)/2
820 GOSUB 2590
830 DELTAP=FIX((P-PE)*1000)
840 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
850 PRINT"DELTAP=";DELTAP
860 WEND
870 GOSUB 2330
880 UE1=U
890 RE1=RO
900 GOSUB 2650
910 SE1=S
920 HE1=UE1+PE/RE1*K
930 REM
940 REM Inizio del calcolo di RE, densita' che corrisponde al punto
a pressione
950 REM maggiore PE e temperatura minore TMIN; al termine se
ne calcola anche
960 REM il valore di energia interna UE.
970 REM
980 T=TMIN
990 RMAX=35
1000 RMIN=.0007
1010 DELTAP=1
1020 WHILE DELTAP
1030 RO=(RMAX+RMIN)/2

```

```

1040 GOSUB 2590
1050 DELTAP=FIX((P-PE)*1000)
1060 PRINT"DELTAP=";DELTAP
1070 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
1080 WEND
1090 GOSUB 2330
1100 UE=U
1110 RE=RO
1120 GOSUB 2650
1130 SE=S
1140 HE=UE+PE/RE*K
1150 REM
1160 REM Inizio del calcolo di RK1, densita che corrisponde al
punto a pressione
1170 REM minore PK e alla temperatura maggiore TMAX; al
termine se ne calcola
1180 REM anche il valore della energia interna UK1.
1190 REM
1200 T=TMAX
1210 RMAX=35
1220 RMIN=.0007
1230 DELTAP=1
1240 WHILE DELTAP
1250 RO=(RMAX+RMIN)/2
1260 GOSUB 2590
1270 DELTAP=FIX((P-PK)*1000)

```

```

1280 PRINT"DELTAP=";DELTAP
1290 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
1300 WEND
1310 PK1=PK
1320 GOSUB 2330
1330 UK1=U
1340 RK1=RO
1350 GOSUB 2650
1360 SK1=S
1370 HK1=UK1+PK/RK1*K
1380 REM
1390 REM Inizio del calcolo di RK, densita' che corrisponde alla
pressione
1400 REM minore PK e alla temperatura minore TMIN; al termine
se ne calcola
1410 REM anche il valore della energia interna UK.
1420 T=TMIN
1430 RMAX=35
1440 RMIN=.0007
1450 DELTAP=1
1460 WHILE DELTAP
1470 RO=(RMAX+RMIN)/2
1480 GOSUB 2590
1490 DELTAP=FIX((P-PK)*1000)
1500 PRINT"DELTAP=";DELTAP
1510 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO

```

```

1520 WEND
1530 GOSUB 2330
1540 UK=U
1550 RK=RO
1560 GOSUB 2650
1570 SK=S
1580 HK=UK+PK/RK*K
1590 REM
1600 REM Inizio del calcolo degli scambi energetici delle due
isobare
1610 REM
1620 LEE1=PE*(K1/RE1-K1/RE)*K2
1630 LK1K=PK*(K1/RK-K1/RK1)*K2
1640 UEE1=UE1-UE
1650 UK1K=UK-UK1
1660 QEE1=LEE1+UEE1
1670 QK1K=LK1K+UK1K
1680 REM Calcolo di QISOBAR cioe' del calore ottenuto come
somma algebrica
1690 REM del calore isobaro QEE1 e del calore isobaro QK1K.
1700 QISOBAR=QEE1+QK1K
1710 REM Inizia una predisposizione per il calcolo degli integrali
definiti
1720 REM relativi al lavoro isotermo sia a TMAX che TMIN; per
fare cio' si
1730 REM crea una indicizzazione (Z) sia di TMAX che di TMIN i

```

quali diventano

1740 REM rispettivamente T(1) e T(0), inoltre viene anche indicizzato il

1750 REM valore dell'integrale SUM(Z); inoltre si creano i due valori HIL

1760 REM e HIH, questi ultimi sono ottenuti dalla divisione dei due intervalli

1770 REM di integrazione (VIN e VFIN) in N parti ciascuno. Infine il loop di

1780 REM indice Z fa riferimento alla subroutine di integrazione basata sul

1790 REM metodo di Simpson e rende disponibili al termine i due integrali

1800 REM SUM(0) e SUM(1) (che poi saranno denominati LKE e LE1K1).

1810 REM

1820 HIL=(V10-V0)/N

1830 V0=K1/RE1

1840 V0=K1/RE

1850 V10=K1/RK

1860 HIL=(V10-V0)/N

1870 V0=K1/RE1

1880 V10=K1/RK1

1890 HIH=(V10-V0)/N

1900 T(0)=TMIN

1910 T(1)=TMAX

1920 REM Inizio del loop in (Z).

```

1930 FOR Z=0 TO 1
1940 IF Z=0 THEN HI=HIL ELSE HI=HIH
1950 IF Z=0 THEN VIN=K1/RE ELSE VIN=K1/RE1
1960 IF Z=0 THEN VFIN=K1/RK ELSE VFIN=K1/RK1
1970 T=T(Z)
1980 GOSUB 2430
1990 SUM(Z)=SUM
2000 NEXT Z
2010 REM termine del loop in (Z).
2020 LE1K1=SUM(1):LKE=-SUM(0)
2030 UE1K1=UK1-UE1:UKE=UE-UK
2040 REM
2050 REM Calcolo delle quantita' di calore isoterma.
2060 QE1K1=SUM(1)+UE1K1
2070 QKE=-SUM(0)+UKE
2080 REM termine del calcolo del calore isoterma QE1K1 e QKE.
2090 REM
2100 REM
2110 REM Inizio del calcolo del calore spettante alle sorgenti
(QTMAX e QTMIN).
2120 QTMAX=QE1K1
2130 QTMIN=QKE
2140 IF QISOBAR>0 THEN QTMAX=QE1K1+QISOBAR ELSE
QTMIN=QKE+QISOBAR
2150 REM Termine della individuazione del calore spettante alle
sorgenti.

```

2160 REM

2170 REM

2180 REM Calcolo del lavoro totale LTOT e della efficienza con recuperatore.

2190 LTOT=LEE1+LE1K1+LK1K+LKE

2200 EFFICIENCY=LTOT/QTMAX

2210 REM Calcolo della efficienza del Ciclo ideale di Carnot.

2220 EFFCARN=(TMAX-TMIN)/TMAX

2230 REM Calcolo del rendimento EFFQ, in base alle quantita' di calore.

2240 EFFQ=(QTMAX+QTMIN)/QTMAX

2250 REM Calcolo delle quantita' di calore MAXQ, MINQ che le sorgenti scambiano

2260 REM se non si impiega il recuperatore di calore.

2270 MAXQ=QE1K1+QEE1

2280 MINQ=QKE+QK1K

2290 REM Calcolo del rendimento senza recuperatore.

2300 EFFQMAX=(MAXQ+MINQ)/MAXQ

2310 GOTO 2750

2320 REM Inizio della subroutine che calcola l'energia interna.

2330
$$U=H0-R*T+CP0*(T-T0)+RO*(N2+2*N3/T+3*N4/T^2+5*N5/T^4)$$

2340
$$U=U+(RO^2)*(N7/2)-(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)$$

2350
$$U=U-(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)*EXP(-N16*RO^2)$$

2360

$U=U+(RO^5)*(N15/5)+(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/T^4)$

2370 $U=U+(1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)$

2380 $U=U*K$

2390 RETURN

2400 REM Fine della subroutine che calcola l'energia interna.

2410 REM

2420 REM Inizio della subroutine di integrazione secondo Simpson.

2430 $RO=K1/VIN$

2440 GOSUB 2590

2450 $SUM=P$

2460 FOR A=1 TO N-1

2470 $RO=K1/(VIN+A*HI)$

2480 GOSUB 2590

2490 $Y=2*FIX(A/2)$

2500 IF $Y=A$ THEN $SUM=SUM+2*P$ ELSE $SUM=SUM+4*P$

2510 NEXT A

2520 $RO=K1/VFIN$

2530 GOSUB 2590

2540 $SUM=(SUM+P)*K2*HI/3$

2550 RETURN

2560 REM Fine della routine di integrazione.

2570 REM

2580 REM Inizio della subroutine che calcola la pressione.

2590

$P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N6*T+N7)+RO^4*N8*T$

2600 $P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)$

2610 $P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-N16*RO^2)+RO^6*N15$

2620 RETURN

2630 REM Fine della routine che calcola la pressione.

2640 STOP

2650 REM ROUTINE PER IL CALCOLO DELLA ENTROPIA.

2660 $S=ST0-R*LOG(RO*R*T/1)+CP0*LOG(T/T0)$

2670 $S=S+RO*(-N1+N3/T^2+2*N4/T^3+4*N5/T^5)$

2680 $S=S-(RO^2*(N6/2)+RO^3*(N8/3))$

2690 $S=S-(EXP(-N16*RO^2))*((2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/2/N16)$

2700 $S=S-(EXP(-N16*RO^2))*(RO^2/(2*N16)+1/(2*N16^2))*(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)$

2710 $S=S+(2*N9/T^3+3*N10/T^4+4*N11/T^5)/(2*N16)$

2720 $S=S+(2*N12/T^3+3*N13/T^4+4*N14/T^5)/(2*N16^2)$

2730 $S=S*K$

2740 RETURN

2750 PRINT "=====Ciclo di ERICSSON in ARGO (NBS-27)====="

2760

$ATMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATMIN=FIX(TMIN*1000)/100$

0

2770

APRESSE1=FIX(PE1*100)/100:APRESSE=FIX(PE*100)/100

2780

APRESSK1=FIX(PK1*100)/100:APRESSK=FIX(PK*100)/100

2790 PRINT " Risultati tra T=";ATMAX;"e
T=";ATMIN;"(Kelvin)"

2800 PRINT " per pressioni tra PK=";APRESSK;"e
PE=";APRESSE;"(atm)"

2810 IF TMIN<=150.86 THEN PRINT"ATTENZIONE:
TEMPERATURA<TEMPERATURA CRITICA;RENDIMENTO
CALCOLATO NON VALIDO

2820 EFFICIENCY=LTOT/QTMAX

2830 EFF=FIX(EFFICIENCY*1000)/1000

2840 PRINT"Efficienza massima =";EFF;" (rendimento con
recuperatore)"

2850 EFFCARN=FIX(((TMAX-TMIN)/TMAX)*1000)/1000

2860 PRINT"Efficienza teorica =";EFFCARN;" (del ciclo ideale di
Carnot)"

2870 EFFMIN=FIX((LTOT/(QEE1+QE1K1))*1000)/1000

2880 PRINT "Efficienza minima =";EFFMIN;" (rendimento senza
recuperatore)"

2890 PRINT "QISOBAR = Q(E-E1) + Q(K1-K)
=";FIX(QISOBAR*100)/100;"(J/mol)"

2900 PRINT "Tabella delle caratteristiche dei quattro punti estremi
del ciclo"

2910 PRINT ", E", " K", " E1", " K1"

2920

AROE1=FIX(RE1*10000)/10000:AROE=FIX(RE*10000)/10000

2930
 AROK1=FIX(RK1*10000)/10000:AROK=FIX(RK*10000)/10000
 2940 PRINT "Dens.(mol/l)",AROE,AROK,AROE1,AROK1
 2950
 AVE1=FIX(K1/RE1*10000)/10000:AVE=FIX(K1/RE*10000)/10000
 2960
 AVK1=FIX(K1/RK1*10000)/10000:AVK=FIX(K1/RK*10000)/10000
 2970 PRINT "V(cm-cubi/g)",AVE,AVK,AVE1,AVK1
 2980 PRINT
 "P(atm)",APRESSE,APRESSK,APRESSE,APRESSK1
 2990
 ATEMPMAX=FIX(TMAX*1000)/1000:ATEMPMIN=FIX(TMIN*1000)/1000
 3000 PRINT
 "T(Kelvin)",ATEMPMIN,ATEMPMIN,ATEMPMAX,ATEMPMAX
 3010 ASE=FIX(SE*100)/100:ASE1=FIX(SE1*100)/100
 3020 ASK=FIX(SK*100)/100:ASK1=FIX(SK1*100)/100
 3030 PRINT "S(J/mol*K)",ASE,ASK,ASE1,ASK1
 3040
 PRINT"U(J/mol)",FIX(UE*10)/10,FIX(UK*10)/10,FIX(UE1*10)/10,
 FIX(UK1*10)/10
 3050 AHE=FIX(HE*10)/10
 3060 AHK=FIX(HK*10)/10
 3070 AHE1=FIX(HE1*10)/10
 3080 AHK1=FIX(HK1*10)/10

```

3090 PRINT"H(J/mol)",AHE,AHK,AHE1,AHK1
3100 PRINT "Tabella degli scambi energetici dei vari rami del
ciclo"
3110 PRINT" (E-E1)","(E1-K1)","(K1-K)","(K-E)"," TOTALE"
3120 AVE1K1=FIX(LE1K1*100)/100
3130 AVK1K=FIX(LK1K*100)/100
3140 AVKE=FIX(LKE*100)/100
3150 AVEE1=FIX(LEE1*100)/100
3160 AVTOT=FIX(LTOT*100)/100
3170 PRINT AVEE1,AVE1K1,AVK1K,AVKE,AVTOT;"L(J/mol)"
3180 AUE1K1=FIX(UE1K1*100)/100
3190 AUK1K=FIX(UK1K*100)/100
3200 AUKE=FIX(UKE*100)/100
3210 AUEE1=FIX(UEE1*100)/100
3220 AUTOT=UE1K1+UK1K+UKE+UEE1
3230 PRINT AUEE1,AUE1K1,AUK1K,AUKE,AUTOT;"Delta-
U(J/mol)"
3240 AQE1K1=FIX((LE1K1+UE1K1)*100)/100
3250 AQK1K=FIX((LK1K+UK1K)*100)/100
3260 AQKE=FIX((LKE+UKE)*100)/100
3270 AQEE1=FIX((LEE1+UEE1)*100)/100
3280 QTOT=QEE1+QE1K1+QK1K+QKE
3290 AQTOT=FIX(QTOT*100)/100
3300 PRINT AQEE1,AQE1K1,AQK1K,AQKE,AQTOT;"Q(J/mol)"
3310 END

```

11.8 PROGRAMMA *ERIXREV*

1 REM PROGRAMMA *ERIXREV*

2 REM Copyright 1992 di Maurizio Vignati, Rome, Italy.

10 REM Programma *ERIXREV* per la determinazione di cicli di Ericsson in *ARGO*

20 REM adiacenti tra due temperature, tali da essere complessivamente

30 REM reversibili se impiegano un recuperatore di calore perfetto e

40 REM comune alle quattro isobare dei due cicli. Il programma chiede

50 REM i valori delle due temperature e due valori di pressione. Quindi

60 REM cerca un terzo valore di pressione, intermedio tra i due, tale

70 REM che i due cicli di Ericsson in tal modo risultanti, abbiano valori

80 REM di *QISOBAR* uguali e opposti quando i due cicli sono contrapposti.

90 REM E' necessario impostare anche il valore *N* che rappresenta il numero

100 REM di parti in cui si vuole dividere l'intervallo di integrazione per

110 REM il calcolo del lavoro termodinamico delle isobare secondo il metodo

120 REM approssimato di Simpson. Inoltre il numero *NQ* determina l'errore che

130 REM si vuole ammettere sul *QISOBAR*. $NQ=1$ consente di ottenere un

140 REM errore di ± 1 sul valore assoluto di *QISOBAR*; invece

NQ=10

150 REM consente di determinare QISOBAR con un errore di + o - 0.1 etc.

160 REM Bisogna quindi cercare per tentativi una precisione sufficientemente

170 REM alta per lo scopo, che pero' non impedisca al programma di convergere.

180 REM Se il programma non converge provare ad aumentare il valore di N

190 REM e/o diminuire il valore di NQ.

200 DEFDBL B-Y

210 INPUT"Digitare il valore di pressione maggiore PE in atm";PE

220 INPUT"Digitare il valore di pressione minore PK in atm";PK

230 INPUT"Digitare il valore di temperatura maggiore TMAX in K";TMAX

240 INPUT"Digitare il valore di temperatura minore TMIN in K";TMIN

250 IF TMIN<=150.86 THEN PRINT"ERRORE: AUMENTARE TMIN":END

260 INPUT"Digitare il numero pari e intero N per l'integrale di Simpson";N

270 DATA 0.0025978374

280 DATA -0.89735867

290 DATA-67.273638

300 DATA -2649.4177

310 DATA 9763123.1

320 DATA 7.047856 E-05

330 DATA -0.0046767764
340 DATA 2.264077 E-06
350 DATA 481.41071
360 DATA 64565.346
370 DATA -11485282
380 DATA -0.64835488
390 DATA 465.24812
400 DATA 10933.578
410 DATA 6.943953 E-07
420 DATA 0.0048
430 DATA 1.274859419
440 DATA 87.28
450 DATA 0.0820535
460 DATA 0.2051340787
470 DATA 93.80343206
480 DATA 101.3277599
490 DATA 25.03254231
500 DATA 4.047
510 READ N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
520 READ N11,N12,N13,N14,N15,N16,ST0
530 READ T0,R,CP0,H0,K,K1,K2
540 REM input del parametro che determina la precisione su
QISOBAR
550 INPUT"Numero intero NQ che determina la precisione su
QISOBAR";NQ
560 REM inizio determinazione delle caratteristiche di E1

```
570 T=TMAX
580 RMAX=35:RMIN=.0007
590 DELTAP=1
600 WHILE DELTAP
610 RO=(RMAX+RMIN)/2
620 GOSUB 2200
630 DELTAP=FIX((P-PE)*10000)
640 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
650 PRINT"DELTAP=";DELTAP
660 WEND
670 GOSUB 1960
680 UE1=U
690 RE1=RO
700 HE1=UE1+PE/RE1*K
710 GOSUB 3930
720 SE1=S
730 REM fine della determinazione delle caratteristiche di E1
740 REM inizio della determinazione delle caratteristiche di E
750 T=TMIN
760 RMAX=35
770 RMIN=.0007
780 DELTAP=1
790 WHILE DELTAP
800 RO=(RMAX+RMIN)/2
810 GOSUB 2200
```

```
820 DELTAP=FIX((P-PE)*10000)
830 PRINT"DELTAP=";DELTAP
840 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
850 WEND
860 GOSUB 1960
870 UE=U
880 RE=RO
890 HE=UE+PE/RE*K
900 GOSUB 3930
910 SE=S
920 REM fine della determinazione delle caratteristiche di E
930 REM inizio della determinazione delle caratteristiche di K1
940 T=TMAX
950 RMAX=35
960 RMIN=.0007
970 DELTAP=1
980 WHILE DELTAP
990 RO=(RMAX+RMIN)/2
1000 GOSUB 2200
1010 DELTAP=FIX((P-PK)*10000)
1020 PRINT"DELTAP=";DELTAP
1030 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
1040 WEND
1050 PK1=PK
1060 GOSUB 1960
```

```
1070 UK1=U
1080 RK1=RO
1090 HK1=UK1+PK/RK1*K
1100 GOSUB 3930
1110 SK1=S
1120 REM fine della determinazione delle caratteristiche di K1
1130 REM inizio della determinazione delle caratteristiche di K
1140 T=TMIN
1150 RMAX=35
1160 RMIN=.0007
1170 DELTAP=1
1180 WHILE DELTAP
1190 RO=(RMAX+RMIN)/2
1200 GOSUB 2200
1210 DELTAP=FIX((P-PK)*10000)
1220 PRINT"DELTAP=";DELTAP
1230 IF DELTAP<0 THEN RMIN=RO ELSE RMAX=RO
1240 WEND
1250 GOSUB 1960
1260 UK=U
1270 RK=RO
1280 HK=UK+PK/RK*K
1290 GOSUB 3930
1300 SK=S
1310 REM fine della determinazione delle caratteristiche di K
```

1320 REM determinazione delle caratteristiche di H1 (tentativo)
1330 RMAX1=RE1:RMIN1=RK1
1340 DELTAQ=1
1350 REM inizio del "loop" di determinazione di H1 per cui
QISOBAR=0
1360 WHILE DELTAQ
1370 T=TMAX
1380 RO=(RMAX1+RMIN1)/2
1390 RH1=RO
1400 HH1=UH1+PH1/RH1*K
1410 GOSUB 2200
1420 PH1=P
1430 GOSUB 1960
1440 UH1=U
1450 GOSUB 3930
1460 SH1=S
1470 REM fine della determinazione delle caratteristiche di H1
(tentativo)
1480 REM inizio della determinazione delle caratteristiche di H
(tentativo)
1490 T=TMIN
1500 RMAX0=RE:RMIN0=RK
1510 DELTAP=1
1520 WHILE DELTAP
1530 RO=(RMAX0+RMIN0)/2
1540 RH=RO

```

1550 GOSUB 2200
1560 PH=P
1570 DELTAP=FIX((P-PH1)*10000)
1580 IF DELTAP<0 THEN RMIN0=RO ELSE RMAX0=RO
1590 PRINT"DELTAP=";DELTAP,"PH=";PH
1600 WEND
1610 GOSUB 1960
1620 UH=U
1630 HH=UH+PH/RH*K
1640 GOSUB 3930
1650 SH=S
1660 REM fine della determinazione delle caratteristiche di H
(tentativo)
1670 REM determinazione delle quantit... di lavoro isobaro
1680 LEE1=PE*(K1/RE1-K1/RE)*K2
1690 LKK1=PK*(K1/RK1-K1/RK)*K2
1700 LH1H=PH1*(K1/RH-K1/RH1)*K2
1710 UEE1=UE1-UE
1720 UKK1=UK1-UK
1730 UH1H=UH-UH1
1740 REM calcolo delle quantit... di calore isobare
1750 QEE1=LEE1+UEE1
1760 QKK1=LKK1+UKK1
1770 QH1H=LH1H+UH1H
1780 REM variazioni di energia interna nelle isobare
1790 REM definizione di QISOBAR

```

```

1800 QISOBAR=QEE1+2*QH1H+QKK1
1810 REM impostazione della precisione su QISOBAR
1820 DELTAQ=FIX(QISOBAR*NQ)
1830 REM inizio impostazione dei limiti per la ricerca di
QISOBAR=0
1840 IF QEE1>QKK1 THEN GOTO 1850 ELSE GOTO 1870
1850 IF DELTAQ<0 THEN RMAX1=RH1 ELSE RMIN1=RH1
1860 GOTO 1890
1870 IF DELTAQ<0 THEN RMIN1=RH1 ELSE RMAX1=RH1
1880 REM fine della impostazione dei limiti per la ricerca di
QISOBAR=0
1890 PRINT"DELTAQ=",DELTAQ
1900 PRINT"QISOBAR=",QISOBAR
1910 REM fine del "loop" di determinazione di H1 per cui
QISOBAR=0
1920 WEND
1930 PRINT"QISOBAR=";QISOBAR
1940 GOTO 2260
1950 REM inizio della subroutine di calcolo dell'energia interna
1960
U=H0-R*T+CP0*(T-
T0)+RO*(N2+2*N3/T+3*N4/T^2+5*N5/T^4)
1970
U=U+(RO^2)*(N7/2)-
(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)
1980
U=U-
(RO^2/2/N16+1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)*
EXP(-N16*RO^2)
1990

```

```

U=U+(RO^5)*(N15/5)+(1/2/N16)*(3*N9/T^2+4*N10/T^3+5*N11/
T^4)
2000 U=U+(1/2/N16^2)*(3*N12/T^2+4*N13/T^3+5*N14/T^4)
2010 U=U*K
2020 REM fine della subroutine di calcolo dell'energia interna
2030 RETURN
2040 REM inizio della subroutine di calcolo dell'integrale di
Simpson
2050 RO=K1/VIN
2060 GOSUB 2200
2070 SUM=P
2080 FOR A=1 TO N-1
2090 RO=K1/(VIN+A*HI)
2100 GOSUB 2200
2110 Y=2*FIX(A/2)
2120 IF Y=A THEN SUM=SUM+2*P ELSE SUM=SUM+4*P
2130 NEXT A
2140 RO=K1/VFIN
2150 GOSUB 2200
2160 SUM=(SUM+P)*K2*HI/3
2170 REM fine della subroutine di calcolo dell'integrale di Simpson
2180 RETURN
2190 REM inizio della subroutine di calcolo della pressione
2200
P=RO*R*T+RO^2*(N1*T+N2+N3/T+N4/T^2+N5/T^4)+RO^3*(N
6*T+N7)+RO^4*N8*T

```

2210 $P=P+RO^3*(N9/T^2+N10/T^3+N11/T^4)*EXP(-N16*RO^2)$
 2220 $P=P+RO^5*(N12/T^2+N13/T^3+N14/T^4)*EXP(-N16*RO^2)+RO^6*N15$
 2230 REM fine della subroutine di calcolo della pressione
 2240 RETURN
 2250 REM inizio determinazione dei volumi specifici
 2260 $VE=K1/RE$
 2270 $VH=K1/RH$
 2280 $VK=K1/RK$
 2290 $VE1=K1/RE1$
 2300 $VH1=K1/RH1$
 2310 $VK1=K1/RK1$
 2320 REM fine determinazione dei volumi specifici
 2330 REM inizio della determinazione degli intervalli di integrazione
 2340 $HIM0=(VK-VE)/N$
 2350 $HIM1=(VK1-VE1)/N$
 2360 REM assegnazione di un numero pari di intervalli che dividono
 2370 REM ognuno dei quattro segmenti di isoterma del ciclo
 2380 $AP0=FIX((VH-VE)/HIM0)$
 2390 IF $AP0=0$ THEN 3910
 2400 $AP1=2*FIX(AP0/2)$
 2410 IF $AP1=AP0$ THEN $N(0,0)=AP0$ ELSE $N(0,0)=AP0+1$
 2420 $N(1,0)=N-N(0,0)$
 2430 $AP0=FIX((VK1-VE1)/HIM1)$

```

2440 IF AP0=0 THEN 3910
2450 AP1=2*FIX(AP0/2)
2460 IF AP1=AP0 THEN N(0,1)=AP0 ELSE N(0,1)=AP0+1
2470 N(1,1)= N-N(0,1)
2480 REM fine assegnazione; i 4 numeri pari sono caricati in una
matrice
2490 REM inizio degli integrali di Simpson per le isoterme E-H ed
H-K
2500 T=TMIN
2510 FOR Z=0 TO 1
2520 IF Z=0 THEN HI=(VH-VE)/N ELSE HI=(VK-VH)/N
2530 IF Z=0 THEN VIN=VE ELSE VIN=VH
2540 IF Z=0 THEN VFIN=VH ELSE VFIN=VK
2550 GOSUB 2050
2560 SUM(0,Z)=SUM
2570 NEXT Z
2580 REM fine degli integrali di Simpson per E-H ed H-K
2590 REM inizio degli integrali di Simpson per le isoterme E1-H1
ed H1-K1
2600 T=TMAX
2610 FOR Z=0 TO 1
2620 IF Z=0 THEN HI=(VH1-VE1)/N ELSE HI=(VK1-VH1)/N
2630 IF Z=0 THEN VIN=VE1 ELSE VIN=VH1
2640 IF Z=0 THEN VFIN=VH1 ELSE VFIN=VK1
2650 GOSUB 2050
2660 SUM(1,Z)=SUM

```

```

2670 NEXT Z
2680 REM fine degli integrali di Simpson per E1-H1 ed H1-K1
2690 REM variazioni di energia interna nelle isoterme
2700 UHE=UE-UH
2710 UE1H1=UH1-UE1
2720 UK1H1=UH1-UK1
2730 UHK=UK-UH
2740 REM assegnazione delle quantit... di lavoro
2750 LE1H1=SUM(1,0)
2760 LK1H1=-SUM(1,1)
2770 LHK=SUM(0,1)
2780 LHE=-SUM(0,0)
2790 LSUP=LEE1+LH1H+LE1H1+LHE
2800 LINF=LH1H+LHK+LKK1+LK1H1
2810 LTOT=LSUP+LINF
2820 REM determinazione delle quantità di calore isoterme
2830 QE1H1=LE1H1+UE1H1
2840 QK1H1=LK1H1+UK1H1
2850 QHK=LHK+UHK
2860 QHE=LHE+UHE
2870 QTMAX=QE1H1+QK1H1
2880 GOTO 3060
2890 REM determinazione del sistema invertito in grado di produrre
lavoro
2900 IF LTOT<0 THEN QTHIGH=-QTMAX ELSE
QTHIGH=QTMAX

```

```

2910 QTMIN=QHK+QHE
2920 IF LTOT<0 THEN QTLOW=-QTMIN ELSE
QTLOW=QTMIN
2930 IF LTOT<0 THEN QISOTOT=-QISOBAR ELSE
QISOTOT=QISOBAR
2940 IF QISOTOT<0 THEN QTLOW=QTLOW+QISOTOT ELSE
QTHIGH=QTHIGH+QISOTOT
2950 IF LTOT<0 THEN LMOTOR=-LTOT ELSE
LMOTOR=LTOT
2960 IF QTHIGH>0 THEN QASS=QTHIGH ELSE QASS=0
2970 IF QTLOW>0 THEN QASS=QASS+QTLOW
2980 IF LTOT<0 THEN PRINT"-----SISTEMA
INVERTITO-----"
2990 PRINT "Calore assorbito dalla sorgente
calda=";QTHIGH;"(J/mol)"
3000 PRINT "Calore ceduto alla sorgente
fredda=";QTLOW;"(J/mol)"
3010 PRINT "Lavoro prodotto dal sistema di
cicli=";LMOTOR;"(J/mol)"
3020 EFFTOT=LMOTOR/QASS
3030 PRINT "Efficienza totale del sistema come motore=";EFFTOT
3040 PRINT "Premere F5 (CONT) per rivedere la schermata
precedente"
3050 END
3060 PRINT
3070 PRINT "*****Cicli di Ericsson in ARGO contrapposti e
adiacenti*****"

```

```

3080 PRINT "*-----programma ERIXREV-----Dati del NBS-
27-----*"
3090 IF TMIN<150.86 THEN PRINT"T<TEMPERATURA
CRITICA; RENDIMENTO NON VALIDO"
3100
APE=FIX(PE*100)/100:APH=FIX(PH*100)/100:APK=FIX(PK*10
0)/100
3110 PRINT "Risultati tra T=";TMAX;"e";TMIN;"(K)";"e tra
P=";APE;"e";APK;"atm"
3120 EFFCARN=(TMAX-TMIN)/TMAX
3130 PRINT"Efficienza ideale di
Carnot=";FIX(EFFCARN*1000)/1000
3140 QISUP=FIX((QEE1+QH1H)*100)/100
3150 PRINT "Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo
SUPERIORE"
3160 PRINT ," E"," H"," E1"," H1"
3170 ARE=FIX(RE*100)/100:ARE1=FIX(RE1*100)/100
3180 ARH=FIX(RH*100)/100:ARH1=FIX(RH1*100)/100
3190 PRINT "dens.(mol/l)",ARE,ARH,ARE1,ARH1
3200 AVE=FIX(VE*100)/100:AVE1=FIX(VE1*100)/100
3210 AVH=FIX(VH*100)/100:AVH1=FIX(VH1*100)/100
3220 PRINT "v(l/kg)",AVE,AVH,AVE1,AVH1
3230 APE=FIX(PE*100)/100:APH=FIX(PH*100)/100
3240 PRINT "P(atm)",APE,APH,APE,APH
3250
ATMAX=FIX(TMAX*100)/100:ATMIN=FIX(TMIN*100)/100
3260 PRINT "T(K)",ATMIN,ATMIN,ATMAX,ATMAX

```

3270 $AUE=FIX(UE*100)/100:AUH=FIX(UH*100)/100$
 3280 $AUE1=FIX(UE1*100)/100:AUH1=FIX(UH1*100)/100$
 3290 PRINT "U(J/mol)",AUE,AUH,AUE1,AUH1
 3300 $ASE=FIX(SE*100)/100:ASE1=FIX(SE1*100)/100$
 3310 $ASH=FIX(SH*100)/100:ASH1=FIX(SH1*100)/100$
 3320 PRINT "S(J/mol-K)",ASE,ASH,ASE1,ASH1
 3330 $AHE=FIX(HE*10)/10:AHH=FIX(HH*10)/10$
 3340 $AHE1=FIX(HE1*10)/10:AHH1=FIX(HH1*10)/10$
 3350 PRINT "H(J/mol)",AHE,AHH,AHE1,AHH1
 3360 PRINT "Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo SUPERIORE"
 3370 PRINT " E-E1", " E1-H1", " H1-H", " H-E", "TOTALE"
 3380 $ALEE1=FIX(LEE1*100)/100:ALH1H=FIX(LH1H*100)/100$
 3390
 $ALE1H1=FIX(LE1H1*100)/100:ALHE=FIX(LHE*100)/100:ALSUP=FIX(LSUP*100)/100$
 3400 PRINT ALEE1,ALE1H1,ALH1H,ALHE,ALSUP;"(J/mol)"
 3410 $AUEE1=FIX(UEE1*100)/100:AUH1H=FIX(UH1H*100)/100$
 3420 $AUE1H1=FIX(UE1H1*100)/100:AUHE=FIX(UHE*100)/100$
 3430 $DU=FIX(UEE1+UE1H1+UH1H+UHE)$
 3440 PRINT AUEE1,AUE1H1,AUH1H,AUHE,DU;" (J/mol)"
 3450 $AQEE1=FIX(QEE1*100)/100:AQH1H=FIX(QH1H*100)/100$
 3460 $AQE1H1=FIX(QE1H1*100)/100:AQHE=FIX(QHE*100)/100$
 3470 $QTMAXS=QE1H1:QTMINS=QHE$
 3480 $AQSUP=FIX(((QEE1+QE1H1+QH1H+QHE)*100)/100)$
 3490 PRINT AQEE1,AQE1H1,AQH1H,AQHE,AQSUP;"(J/mol)"

```

3500 PRINT "          QISOBAR(sup)=";QISUP;" (J/mol)"
3510 IF QISUP<0 THEN QTMINS=QISUP+QTMINS ELSE
QTMAXS=QISUP+QTMAXS
3520 EFFSUP=FIX((LSUP/QTMAXS)*1000)/1000
3530          PRINT          "Efficienza          del          ciclo
SUPERIORE=";EFFSUP;"premere F5 (CONT)"
3540 STOP
3550 QISOINF=FIX((QH1H+QKK1)*100)/100
3560 PRINT "Caratteristiche dei quattro punti estremi del ciclo
INFERIORE"
3570 PRINT ," H"," K"," H1"," K1"
3580 ARK1=FIX(RK1*100)/100:ARK=FIX(RK*100)/100
3590 PRINT "d(mol/l)",ARH,ARK,ARH1,ARK1
3600 AVK=FIX(VK*100)/100:AVK1=FIX(VK1*100)/100
3610 PRINT "v(l/kg)",AVH,AVK,AVH1,AVK1
3620 APK=FIX(PK*100)/100
3630 PRINT "P(atm)",APH,APK,APH,APK
3640 PRINT "T(Kelvin)",ATMIN,ATMIN,ATMAX,ATMAX
3650 AUK=FIX(UK*100)/100:AUK1=FIX(UK1*100)/100
3660 PRINT "U(J/mol)",AUH,AUK,AUH1,AUK1
3670 ASK=FIX(SK*100)/100:ASK1=FIX(SK1*100)/100
3680 PRINT "S(J/mol-K)",ASH,ASK,ASH1,ASK1
3690 AHK=FIX(HK*10)/10:AHK1=FIX(HK1*10)/10
3700 PRINT"H(J/mol)",AHH,AHK,AHH1,AHK1
3710 PRINT "Tabella degli scambi energetici dei vari rami del ciclo
INFERIORE"

```

```

3720 PRINT " H1-H", " K1-H1", " K-K1", " H-K", " TOTALE"
3730
ALK1H1=FIX(LK1H1*100)/100:ALHK=FIX(LHK*100)/100:ALK
K1=FIX(LKK1*100)/100
3740 ALINF=ALH1H+ALK1H1+ALKK1+ALHK
3750
PRINT
ALH1H,ALK1H1,ALKK1,ALHK,FIX(ALINF*100)/100;"(J/mol)"
3760
AUKK1=FIX(UKK1*100)/100:AUK1H1=FIX(UK1H1*100)/100:A
UHK=FIX(UHK*100)/100
3770 DUINF=FIX((UH1H+UHK+UKK1+UK1H1)*100)/100
3780 PRINT AUH1H,AUK1H1,AUKK1,AUHK,DUINF;"
(J/mol)"
3790
AQKK1=FIX(QKK1*100)/100:AQK1H1=FIX(QK1H1*100)/100:A
QHK=FIX(QHK*100)/100
3800 AQINF=FIX((QH1H+QHK+QKK1+QK1H1)*100)/100
3810 PRINT AQH1H,AQK1H1,AQKK1,AQHK,AQINF;"(J/mol)"
3820 QHH1M=-AQH1H:QH1K1M=-AQK1H1:QK1KM=-
AQKK1:QKHM=-AQHK:QISOINFM=-QISOINF
3830 QTMINI=QKHM:QTMAXI=QH1K1M
3840 IF QISOINFM<0 THEN QTMINI=QTMINI+QISOINFM
ELSE QTMAXI=QTMAXI+QISOINFM
3850 EFFINF=FIX(-ALINF/QTMAXI*1000)/1000
3860 PRINT " QISOBAR(inf)=";QISOINF;"(J/mol)"
3870 PRINT " Efficienza del ciclo INFERIORE impiegato come
motore=";EFFINF
3880 PRINT "***PRESTAZIONI DEL SISTEMA DI CICLI CON

```

RECUPERORE COMUNE PERFETTO**"

3890 GOTO 2900

3900 END

3910 PRINT"ERRORE: AUMENTARE IL VALORE DI N":STOP

3920 RUN

3930 REM ROUTINE PER IL CALCOLO DELLA ENTROPIA.

3940 $S=ST_0-R*\text{LOG}(RO*R*T/1)+CP_0*\text{LOG}(T/T_0)$

3950 $S=S+RO*(-N_1+N_3/T^2+2*N_4/T^3+4*N_5/T^5)$

3960 $S=S-(RO^2*(N_6/2)+RO^3*(N_8/3))$

3970 $S=S-(\text{EXP}(-N_{16}*RO^2))*((2*N_9/T^3+3*N_{10}/T^4+4*N_{11}/T^5)/2/N_{16})$

3980 $S=S-(\text{EXP}(-N_{16}*RO^2))*(RO^2/(2*N_{16})+1/(2*N_{16}^2))*(2*N_{12}/T^3+3*N_{13}/T^4+4*N_{14}/T^5)$

3990 $S=S+(2*N_9/T^3+3*N_{10}/T^4+4*N_{11}/T^5)/(2*N_{16})$

4000 $S=S+(2*N_{12}/T^3+3*N_{13}/T^4+4*N_{14}/T^5)/(2*N_{16}^2)$

4010 $S=S*K$

4020 RETURN

CAPITOLO 12 APPENDICE D

12.1 CONTRODEDUZIONI SULLA MEMORIA “*CONSIDERATIONS ABOUT THE ANOMALOUS EFFICIENCY OF PARTICULAR THERMODYNAMIC CYCLES*” DEL DR. LEONARDO CHIATTI

Come già accennato in precedenza (Paragrafo 7.43), Leonardo Chiatti, Dirigente Fisico del Servizio Sanitario Nazionale, in servizio

presso la A.U.S.L. di Viterbo (Italia), ha pubblicato su più di una rivista scientifica on-line una memoria intitolata “*Considerations About the Anomalous Efficiency of Particular Thermodynamic Cycles*” (Considerazioni sulla anomala efficienza di particolari cicli termodinamici).

Questo lavoro può essere rintracciato, ad esempio, nella rivista on-line “*Electronic Journal of Theoretical Physics*” (EJTP), 9 (2006) 95-115, al seguente indirizzo web:

www.ejtp.com/articles/ejtpv3i9p95.pdf

Dopo aver esaminato il mio citato libro (*Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale*), nel quale sono descritti quei particolari cicli di Ericsson aventi un rendimento significativamente superiore a quello di CARNOT, CHIATTI ha sviluppato un ragionamento che lo ha indotto a ritenere che tali cicli termodinamici in realtà non esistono.

A mio avviso, tuttavia, le argomentazioni addotte da CHIATTI non sono sufficienti a chiudere la questione circa l'esistenza di tali cicli.

In aggiunta a quanto già osservato nel Paragrafo 7.43, le mie controdeduzioni all'articolo di CHIATTI si possono dividere nelle seguenti sezioni.

12.1.A) L'ANDAMENTO MONOTONICO DELL'ENTROPIA IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

Bisogna innanzi tutto notare che CHIATTI non ha preso in considerazione nessuno dei teoremi dimostrati nel libro citato, a cominciare dal LEMMA LE-1, e quindi egli non ha considerato che tutti i calcoli numerici effettuati per valutare il rendimento del ciclo di Ericsson, compresi i programmi computerizzati, sono basati proprio sul quel Lemma.

Il LEMMA LE-1, che è posto a fondamento dei successivi teoremi (COROLLARIO CE-1; TEOREMA TE-1; TEOREMA TE-2; COROLLARIO CE-2; TEOREMA TE-3; COROLLARIO CE-3; TEOREMA TE-4), è basato su una fondamentale caratteristica dell'Argo in fase gassosa ($T > T_c$), comune a tutti gli altri gas reali allo stato gassoso (vedi CAPITOLO 10 – APPENDICE B):

“... la funzione $S(T)$, relativa ad una isobara, deve essere una funzione monotona crescente (al crescere di T , anche S cresce), e quindi anche la funzione inversa $T(S)$ deve essere monotona per una isobara.”.

È su tale proprietà che è basato il funzionamento del recuperatore perfetto di calore per le isobare. È quindi opportuno riportare qui nel seguito la Figura 9.3 tratta dal citato libro (si veda anche il Capitolo 10 - Appendice B del presente libro).

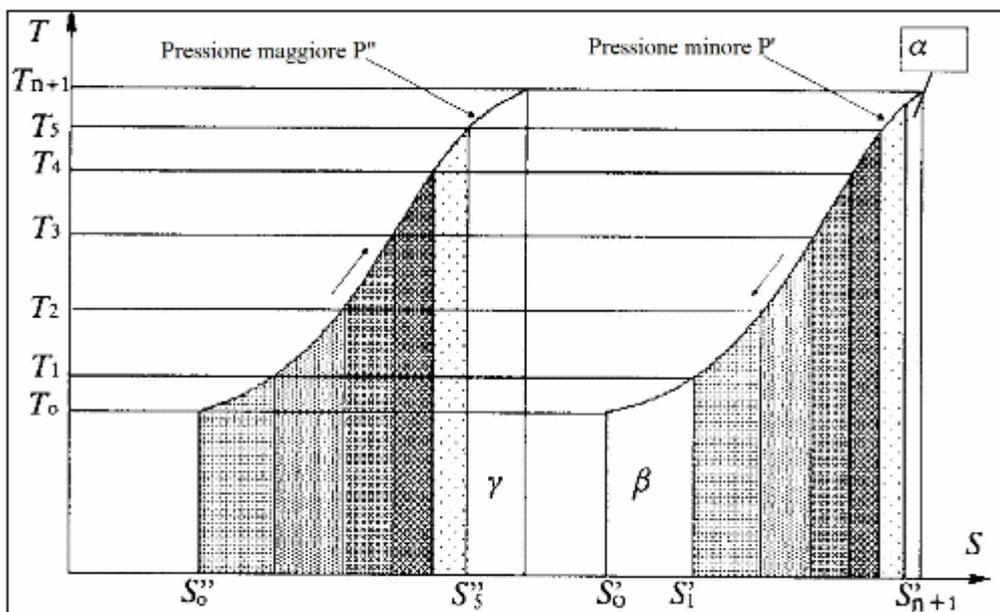


FIG. 9.3

È proprio l'andamento monotono della funzione $T(S)$ che consente al recuperatore perfetto di calore di rendere infinitesima la differenza di temperatura tra una sorgente e il fluido gassoso che vi entra provenendo dal recuperatore.

CHIATTI, pertanto, avrebbe dovuto dimostrare che la citata fondamentale caratteristica dell'Argo in fase gassosa non è sufficiente a determinare la dimostrazione del LEMMA LE-1, e anche quella dei conseguenti teoremi.

Al contrario, CHIATTI aggira l'onere di adottare questa logica modalità di contestazione, sviluppando invece una sua autonoma dimostrazione dell'inesistenza di detti cicli.

12.1.B) IL FANTASIOSO ANDAMENTO DEL CALORE SPECIFICO IPOTIZZATO DA CHIATTI

La dimostrazione di CHIATTI di cui sopra è basata sulla sua ipotesi che l'andamento del calore specifico a pressione costante dell'Argo in fase gassosa (al di sopra del punto critico) sia quello illustrato con la sua Figura n. 2 che segue:

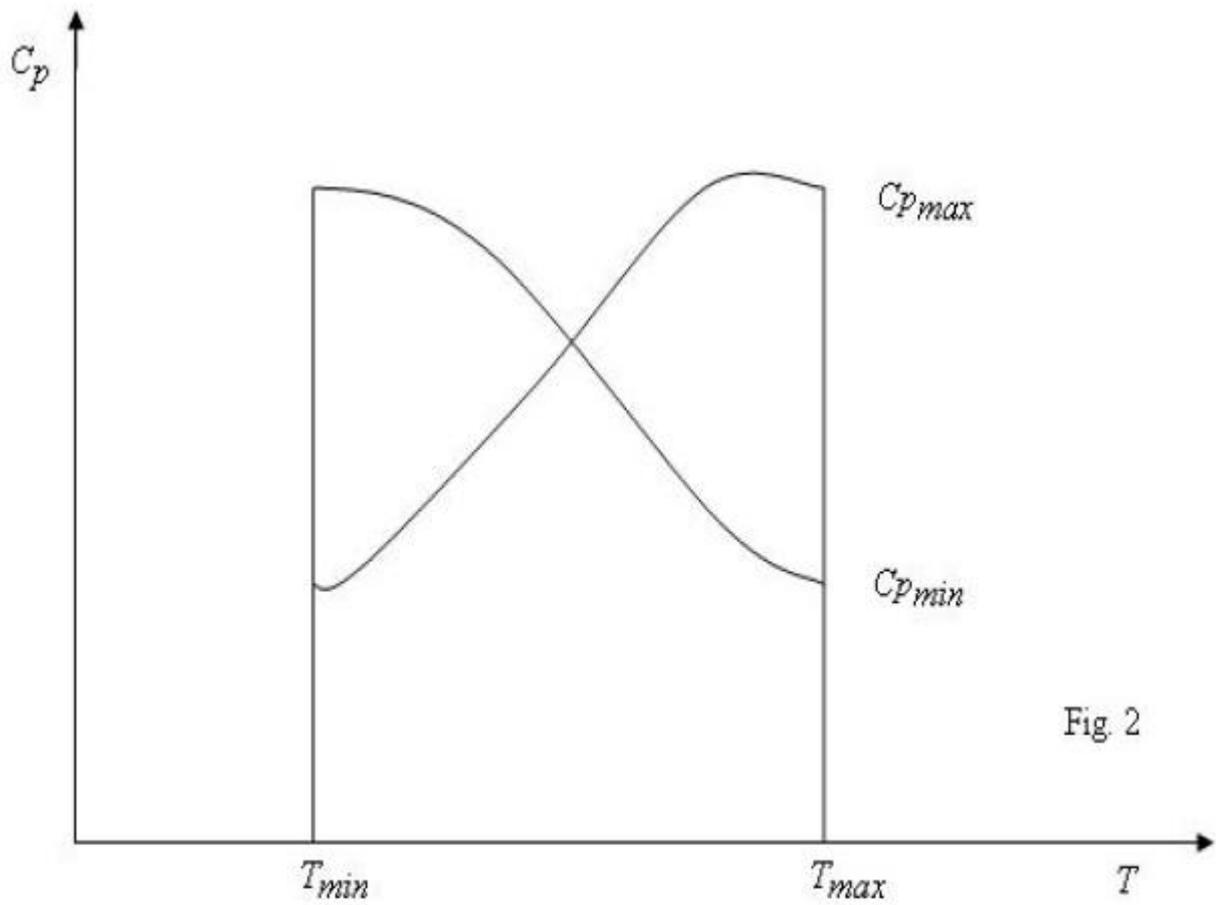
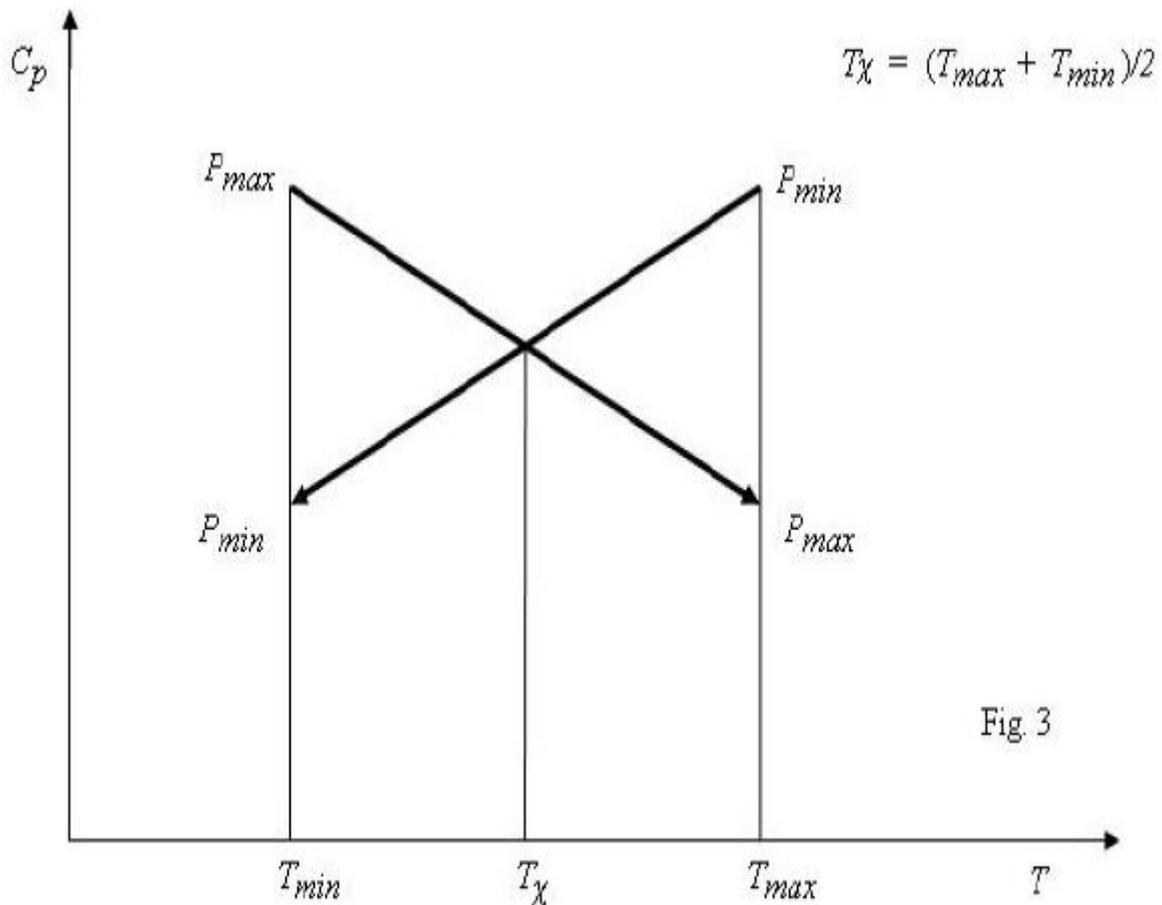


Fig. 2

Successivamente, CHIATTI semplifica la Figura n. 2 e la schematizza con la Fig. 3 che segue.



La memoria di CHIATTI è poi articolata in un complicato ragionamento basato sulla forma geometrica della predetta funzione di C_p linearizzata.

La controdeduzione che qui si oppone al citato ragionamento di CHIATTI, verte sul fatto che egli non aveva la necessità di ipotizzare quel fantasioso andamento di C_p per l'Argo in fase gassosa, dal momento che egli disponeva dei programmi in GW-BASIC allegati all'opera citata, ed anche altri programmi da me elaborati, come RECUPERF e RECUPE, con i quali poteva ottenere i reali andamenti di C_p .

Ad esempio, il programma ERIXREV consente di calcolare e stampare sul monitor anche i valori dell'Entalpia, dalla quale è facile ottenere i corrispondenti valori di C_p .

12.1.C) LA NON-GENERALITÀ DELLA DIMOSTRAZIONE DI CHIATTI – PRIMO MOTIVO

Come già detto, prendendo atto dei contenuti di NBS-27 e sfruttando il citato programma ERIXREV, si può facilmente ricavare il reale andamento dell'Entalpia dell'Argo in funzione della temperatura, per le isobare di un ciclo di Ericsson.

Consideriamo di nuovo il ciclo di Ericsson già visto in precedenza, il quale si svolge tra 180 e 151 K e fa registrare un valore di 0.299 per il rendimento calcolato per via numerica.

I dati di tale ciclo sono riportati nelle due tabelle contenute nel precedente Paragrafo.

Come si vede da queste tabelle, il suddetto ciclo presenta valori identici per le due quantità di calore delle isobare, e ciò risulta dal fatto che la variabile QISOBAR vale praticamente zero.

Si ricorda che la variabile QISOBAR rappresenta la somma algebrica delle due quantità di calore delle isobare del ciclo di Ericsson.

Se queste due quantità di calore si possono reciprocamente compensare ($QISOBAR = 0$) tramite un recuperatore perfetto di calore, allora il ciclo può diventare reversibile.

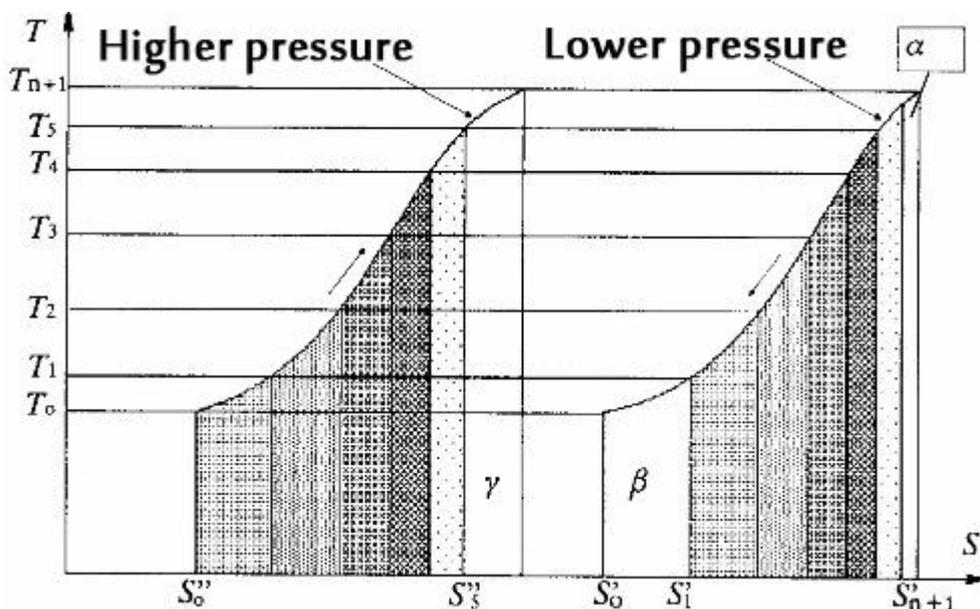
Con il suo complicato ragionamento, CHIATTI ritiene di aver dimostrato che il recuperatore perfetto di calore, così come è presentato nel mio citato libro, non può realizzare la completa compensazione del calore delle due isobare.

Per economizzare gli sforzi mentali, non è opportuno entrare nel merito del ragionamento di CHIATTI; conviene, invece, far notare che il programma ERIXREV può essere anche utilizzato per ricavare i valori delle funzioni termodinamiche dell'Argo in fase gassosa.

In particolare, è possibile ricavare una tabella dei valori dell'Entropia e dell'Entalpia per le due isobare di quel particolare ciclo di Ericsson sopra indicato.

Effettuando questa valutazione, si può notare che le due differenze finali di Entalpia delle due isobare coincidono perfettamente e valgono 3489 J/mol.

Ora torniamo ad osservare la Figura 10.7 del precedente Paragrafo.



Secondo il metodo di recupero del calore qui considerato, l'area tratteggiata tra T_5 e T_4 di P' (pressione minore), dovrebbe essere esattamente uguale all'area tra T_4 e T_3 dell'altra isobara P'' (pressione maggiore).

Ma poiché le temperature tra T_5 e T_4 di P' sono superiori a tutte quelle dell'altra isobara al di sotto di T_4 , nulla vieta che si possa fare in modo che la quantità di calore dell'isobara P' sia divisa, ad esempio, in due parti.

Una parte di questo calore potrebbe continuare ad essere scambiata con lo scambiatore di calore precedente alla temperatura T_4 , mentre la parte residua potrebbe riscaldare uno qualunque dei settori interni del recuperatore di calore avente temperatura inferiore a T_4 .

Le temperature intermedie risultanti sarebbero completamente diverse rispetto a quelle di prima, ma ciò non avrebbe alcuna importanza, visto che dette temperature di equilibrio si formano spontaneamente.

Questo diverso modo di compensare le quantità di calore delle isobare, fa cadere l'obiezione sollevata da CHIATTI relativamente a quel particolare modo di realizzare gli scambi termici all'interno del recuperatore di calore, che è stato illustrato nella mia opera da lui contestata.

Qualche ortodosso potrebbe contrapporre l'obiezione che tali scambi di calore sarebbero irreversibili e quindi “dissipativi” di energia.

Questa obiezione sarebbe però irrilevante, dato che la nostra analisi del percorso logico seguito dalla Comunità Scientifica per definire il concetto di irreversibilità della conduzione di calore, ha mostrato che esso è un corollario dell'assioma fondamentale del Secondo Principio.

Questo fu inizialmente stabilito da KELVIN, nella sua memoria “*On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy*” del 1852, che noi abbiamo già esaminato in un precedente Paragrafo.

Abbiamo successivamente anche visto che anche gli Autori di moderni Testi hanno mantenuto tale concetto.

L'assioma, tuttavia, è del tutto inutile al fine di ottenere una dimostrazione condivisibile del teorema di CARNOT, ne consegue che il suo corollario, consistente nel concetto di irreversibilità della conduzione di calore, resta vuoto di significato fisico.

Quanto alla dissipazione, il calore transitato per conduzione tra differenze di temperature non infinitesime non è distrutto ma si conserva integralmente.

D'altra parte, come si è già fatto notare al termine del Paragrafo 10.5, il LEMMA LE-1 non dimostra che tutti gli scambi di calore che si verificano all'interno del recuperatore perfetto avvengano per differenze infinitesime di temperatura; dimostra, invece, che sono

infinitesime le differenze di temperatura al livello delle due sorgenti principali.

Quindi possiamo immaginare l'esistenza di un tipo di recuperatore di calore diverso (più complesso) da quello considerato nel libro contestato da CHIATTI, capace di fare in modo che tutto il calore della isobara inferiore (che scende di temperatura) vada a compensare quello della isobara superiore (che sale di temperatura).

In conclusione, il ragionamento di CHIATTI di cui sopra non può avere una validità di carattere generale nel provare che il ciclo di Ericsson con recuperatore perfetto di calore non si può chiudere; tale ragionamento potrebbe valere (qualora esso non fosse errato) soltanto per le particolari modalità di recupero del calore considerate nel libro contestato.

Per ottenere una dimostrazione generale della impossibilità di chiudere il ciclo di Ericsson con un recuperatore perfetto di calore, bisognerebbe dimostrare che non esiste nessun altro modo, oltre a quello considerato, di realizzare gli scambi di calore all'interno del recuperatore.

12.1.D LA NON GENERALITA' DELLA DIMOSTRAZIONE DI CHIATTI – SECONDO MOTIVO

Nella sua memoria, CHIATTI si è limitato a tentare di dimostrare che il ciclo di Ericsson con rendimento “anomalo” in realtà non esiste, in quanto il funzionamento del recuperatore di calore impedirebbe la chiusura del ciclo stesso nelle condizioni indicate.

Tuttavia, nel Capitolo 6.5 del libro contestato, è mostrato un esempio di combinazione di due cicli di Ericsson contrapposti con Argo con recuperatore comune di calore per le quattro isobare, il cui rendimento complessivo è esattamente uguale ad uno (100% di efficienza).

Nello stesso capitolo sono anche riportate le due tabelle che il programma ERIXREV stampa sul monitor al termine del calcolo di questa particolare combinazione di cicli. Queste tabelle sono

Thermodynamic properties of the four main points in Fig 5.14.					
		A	B	Y	X
Density	ρ (mol/l)	20.7081	5.64358	4.38398	17.5415
Spec.volume	v (cm ³ /g)	1.208	4.435	5.709	1.4270
Pressure	P (atm)	60	60	50	50
Temperature	T (K)	151	180	180	151
Entropia	S (J/mol K)	82.87	104.43	107.20	85.89
Internal energie	U (J/mol)	6246.8	8931.8	9146.6	6655.4
Enthalpy	H (J/mol)	6540.4	10008.8	10302.2	6944.2

Energy exchanges of 4 branches of the Ericsson cycle shown in Fig. 5.14					
Branch A-B	Branch B-Y	Branch Y-X	Branch X-A	OVERALL SUM	
783.58	283.57	- 866.46	- 48.74	151.95	L (J/mol) Work
2685	214.8	- 2491.2	- 408.6	0	ΔU (J/mol) Internal energy difference
3468.58	498.37	- 3357.66	- 457.34	151.95	Q (J/mol) Heat
QISOBAR = $Q_{A-B} + Q_{Y-X} = 110.95$ (J/mol)					
Efficiency calculated with linear approximation = $L / (Q_{B-Y} + QISOBAR) = 0.2493$					
Theoretical efficiency of the Carnot cycle = $(T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{MAX} = 0.1611..$					

opportunamente qui riportate.

Si ricorda che il calcolo del rendimento di tale combinazione di cicli è basato sui teoremi TE-3 e TE-4, non contestati da CHIATTI e da nessun altro.

Tali teoremi dimostrano che il rendimento unitario di quella particolare combinazione di cicli, si può ottenere soltanto se si impiega un recuperatore tale da mescolare insieme i quattro flussi isobari dei due cicli.

Pertanto, sarebbe stato opportuno, da parte di CHIATTI, verificare se il suo complicato ragionamento, che lo ha condotto ai risultati da lui asseritamente raggiunti, si possa ripetere anche per quattro isobare invece che per le due da lui considerate.

Limitare l'analisi a due sole isobare, potrebbe essere sufficiente solo se l'unico metodo per creare una macchina a rendimento unitario

fosse quello di contrapporre due distinte tipologie di cicli, ad esempio, un ciclo di Ericsson con rendimento “anomalo” e un normale ciclo di CARNOT tra le stesse temperature di funzionamento.

Al contrario, il fatto che sia possibile trovare una combinazione di cicli di Ericsson con rendimento unitario, in cui tale rendimento si raggiunge solo se si mescolano insieme le quantità di calore di quattro isobare, fa ritenere che limitare l'analisi a due sole isobare sia un modo incompleto e non di carattere generale di effettuare la verifica.

12.1.E) CONCLUSIONI SULLA LA MEMORIA DI CHIATTI

Sulla base delle precedenti contro-osservazioni, non ritengo che CHIATTI sia riuscito a dimostrare l'inesistenza dei cicli termodinamici di Ericsson a rendimento “anomalo”.

A ciò si aggiungano le considerazioni esposte in un precedente Paragrafo, circa le irrazionalità della scala termodinamica assoluta, e la necessità di verificare quali ripercussioni esse determinino sul calcolo del rendimento di cicli di Ericsson con recuperatori di calore per le isobare di gas nei pressi del punto critico.

In effetti, nel redigere la mia opera criticata da CHIATTI, lo scrivente ha fatto uso dei concetti (irrazionali) insiti nella scala termodinamica di temperatura, e quindi gli stessi concetti irrazionali sono stati adottati da CHIATTI per sviluppare i ragionamenti in opposizione.

In conclusione, sono del parere che la questione se abbia ragione io oppure CHIATTI, si potrà chiarire (forse) solo quando sarà possibile definire una vera “unità” di misura di temperatura, nel senso indicato nell'apposito Paragrafo 7.43 del presente lavoro.

12.2 “QUENCO” IL CONVERTITORE DI ENERGIA

QUANTICA

Si riportano le quattro pagine relative al dispositivo QUENCO comparse nel web in data 3 Novembre 2013.

Quenco

(Quantum Energy Converter)

*****UPDATES*****

Hands on Quenco prototype batch A devices today!

Start batch B (commercial devices) this coming week

(subject to delivery of material / additive from Boston, Ma)

Estimated delivery of batch B devices 27th March

Quenco (Quantum energy converter) is an ultra-thin heat to power technology.

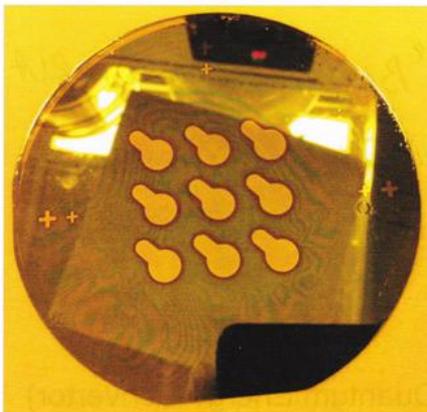
It violates the 2nd Law of Thermodynamics, it produces power from ambient heat.

This is not just a theory but an independently verified phenomenon of physics.

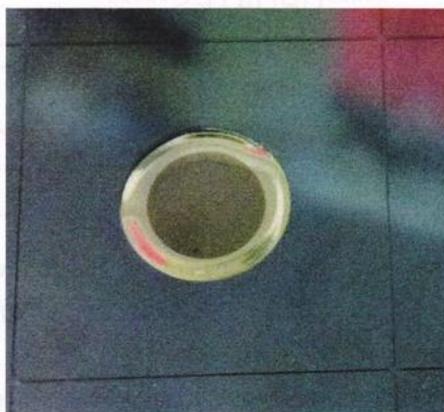
Major USA companies should seriously consider attending the launch.

No fuel, no pollution, and no moving parts.

The ultimate way to power our World.



9 Quencos after special coating applied



Single Quenco after back etch process

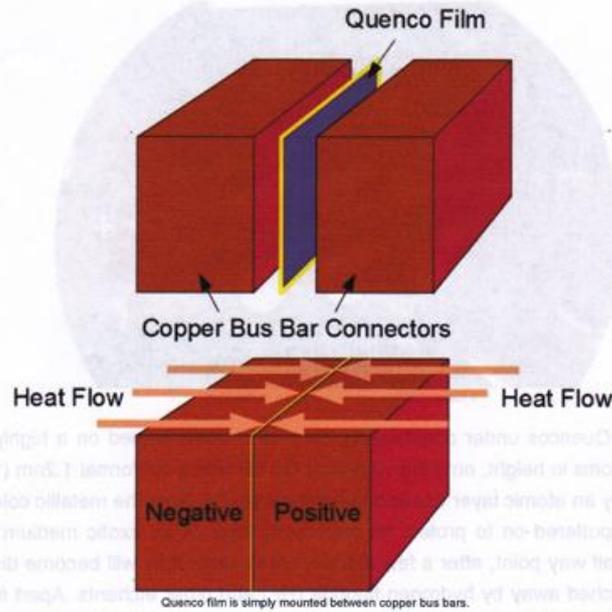


9 Quenco devices under construction 12 Feb 2013

The picture above shows 9 Quencos under construction, they have been formed on a highly polished wafer with step plateaus of just a few atoms in height, onto the incredibly flat surface a conformal 1.2nm (12 Angstrom) layer of Hafnia has been deposited by an atomic layer deposition machine (ALD). Note the metallic colour, this is a Platinum over seal which has been sputtered on to protect an underlying layer of an exotic medium work function metal. These Quencos are at the half way point, after a few more process steps they will become discrete devices as the supporting Si/SiO₂ will be etched away by hydrogen fluoride (HF) and other etchants. Apart from the deposition of the ultra thin layers there are other key process steps involved in getting to this stage including thermal oxidation and rapid thermal annealing. Each step is carried out with precision and is carefully monitored for deviations from specifications. We are confident all remaining steps will be completed as per our specifications, and that we will have a few batches of rugged working devices for distribution to licencees, and to independent testers, in the next few weeks. Further photos and updates will be posted here.

Earlier work in Australia was only partly successful as there was a problem with a particular step, this problem / issue has been resolved. The Australian work served to help us understand process difficulties and also to show us what we needed to do to complete the device. Partial films built in Australia were electrically tested and those test gave us important insights into the Quenco design.

The batches under production, if they perform as predicted, will have an output of 1A/cm² at room temperature and so would be suitable for powering small devices such as hearing aids and phones. We would have liked to use material combinations to allow a theoretical 10,000A/cm² but low work function metals, such as Barium, are not allowed in the SNF labs due to their high vapour pressure which would cause contamination of chamber walls and components. When we have our own production machines / facilities we will be able to produce large volumes of high output barium emitter Quenco films.



12.3 ANNUNCIO DEL CONVEGNO “CONTROVERSIE SU TERMODINAMICA E VITA”

Centro Studi di Biometeorologia Onlus

Un importante dibattito continua da molto tempo in rete su Termodinamica e Vita, in particolare sul secondo principio della termodinamica. Molte questioni restano ancora tema di controversie e può quindi essere utile dedicare un pomeriggio per uno scambio di idee dal vivo, partendo magari da un contributo di un certo valore come quello di Maurizio Vignati che può essere la base per una più ampia discussione su temi fondanti la Scienza e non solo.

Lunedì 15 dicembre 2008 ore 15.00
Università Roma Tre
Aula N 20
Via della Vasca Navale 109 Roma

Convegno **Controversie su Termodinamica e Vita**

Relazione introduttiva Maurizio Vignati
(autore del volume *Riflessioni sulla Potenza Motrice del Calore Ambientale*)

Interventi di

Giuseppe Quartieri *Coerenza e termodinamica*

Leonardo Chiatti
Un nuovo concetto di archetipo nella fisica dell'auto-organizzazione

Giuseppe Sermoniti *Sintropia coerenza e termodinamica nei sistemi biologici*

Ubaldo Mastromatteo
Termodinamica dei processi industriali per la fabbricazione di sistemi complessi

Vincenzo Valenzi *Riflessioni su fisiopatologia e termodinamica*

Moderatore Fulvio Bongiorno

Info centrostudi.biometeo@email.it tel 0039 339 88 65 570
Csb onlus Via Caio Mario 6/A Roma www.cifa-icef.org

12.4 BILANCIO ENERGETICO DEL DIODO NON-BIAS A VUOTO PNEUMATICO DEL DR. XU YELIN

Nella sua pubblicazione “*A trial and Study on Obtaining Energy*”

From a Single Heat reservoir at Ambient Temperature”, YELIN spiega il principio di funzionamento del suo diodo non-bias a vuoto pneumatico, dividendo la spiegazione in due parti.

La prima parte è riportata alle pagine 23-28 e la seconda parte in Appendice.

Come già detto nella parte principale del testo del presente libro, il lavoro di YELIN è stato contestato dal Dr. Leonardo Chiatti con un articolo intitolato “*Has the Second Law of Thermodynamics Really Been Violated?*”, Physics Essay 20(4), March 2007.

Questo articolo può essere scaricato dal seguente sito web

<https://arxiv.org/abs/physics/0702150>

A mia volta, ho contestato l'articolo di CHIATTI con una memoria che può essere scaricata dal seguente sito web:

<http://www.cifafondation.org/>

pulsante CIFA News (no. 44, Jan-Jun 2011) “*Special report - Reflections on the Second Principle of Thermodynamics*”.

Evitando di ripetere tutto ciò che è stato scritto nelle citate memorie, qui possiamo solo aggiungere che CHIATTI nel suo articolo ha presentato un ragionamento teorico per mostrare che l'esperimento di YELIN non può funzionare.

Nella mia memoria, tuttavia, è enfatizzato che questo ragionamento è contraddittorio. CHIATTI, infatti, ammette che una corrente elettrica fluisce nella resistenza elettrica che costituisce il carico del diodo non-bias, senza spiegare da dove questa corrente provenga.

CHIATTI, inoltre, non ha contestato la correttezza del bilancio energetico presentato da YELIN.

Il modo di procedere di CHIATTI è contrario al Metodo Scientifico: un esperimento che viola un principio fisico non può essere dismesso con ragionamenti teorici, ma solo con esperimenti.

Qui di seguito è riportata la seconda parte del bilancio energetico di YELIN, per sottoporla alla valutazione di altri studiosi.

CIRCOLAZIONE DELL'ENERGIA

Consideriamo un elettrone di energia cinetica w_2 . Quando esso fuoriesce dal catodo esso perde l'energia $e\varphi_C$.

Accelerato da un campo elettrico E_2 , il suo guadagno di energia sarà

$$\int_C^A eE_2 dr = e(\varphi_C - \varphi_A)$$

un guadagno di energia $e\varphi_A$ è quindi ottenuto nell'entrare nell'anodo A.

Chiamando w_3 l'energia a quell'istante, otteniamo

$$w_3 = w_2 - e\varphi_C + \int_C^A eE_2 dr + e\varphi_A = w_2$$

Ciò significa che l'energia netta dell'elettrone resta costante dopo aver subito i processi di cui sopra, a condizione che $R_T = 0$.

Se $R_T > 0$, vi sarà un eccesso di elettroni all'anodo mentre una mancanza di elettroni al catodo, con ciò formando un campo elettrico addizionale E_1 .

Quindi E_1 riduce l'originario campo elettrico E_2 a E_4 , cosicché

$$E_1 = E_2 - E_4$$

In quel momento, l'energia dell'elettrone w_2 sarà w_4 quando si muove attraverso il campo E_4 , e w_4 sarà

$$w_4 = w_2 - e\varphi_C + \int_C^A eE_4 dr + e\varphi_A$$

L'elettrone subirà quindi una perdita di energia w_1

$$w_1 = w_2 - w_4$$

$$w_1 = w_3 - w_4 = e \int_C^A E_1 dr = e(I_T R_T)$$

$$n_1 w_1 = I_T^2 R_T$$

Ciò significa che quando un elettrone di energia cinetica w_2 fuoriesce dal catodo, si muove attraverso il campo elettrico e raggiunge l'anodo, la perdita di energia ($w_2 - w_4$) si può convertire in potenza elettrica.

Sia ora w_2 l'energia cinetica media degli elettroni che viaggiano dal catodo verso l'anodo, w_4 sia la loro energia cinetica appena essi hanno raggiunto l'anodo, e w_0 sia l'energia cinetica media di un elettrone a temperatura ambiente.

La perdita di energia del catodo nell'unità di tempo è Q_1

$$Q_1 = n_1(\vec{w}_2 - \vec{w}_0)$$

Il guadagno di energia dell'anodo nell'unità di tempo è Q_2

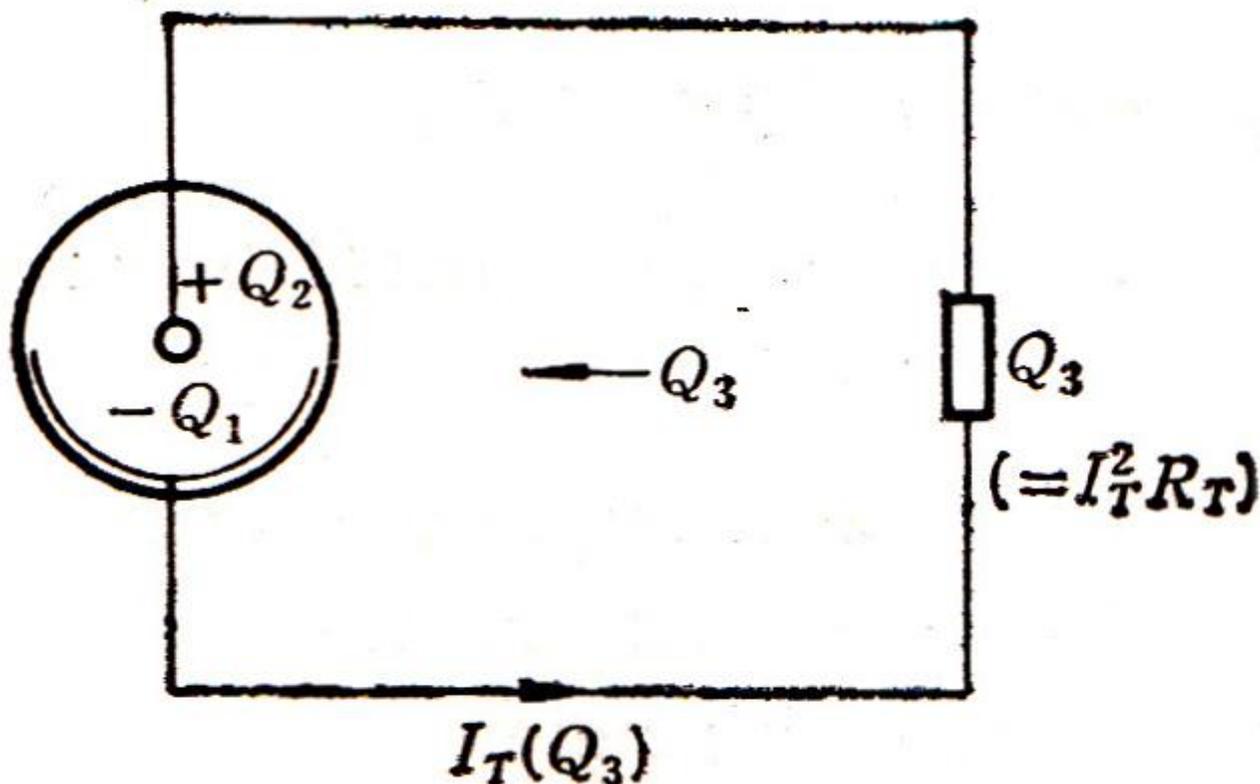
$$Q_2 = n_1(\vec{w}_4 - \vec{w}_0)$$

e l'energia di uscita dal dispositivo sperimentale nell'unità di tempo è Q_3

$$Q_3 = Q_1 - Q_2$$
$$Q_3 = n_1(\vec{w}_2 - \vec{w}_4) = n_1 w_1 = I_T^2 R_T$$

Ciò significa che l'energia di uscita Q_3 è convertita in potenza elettrica

In questo modo, si può disegnare un diagramma come nella seguente Figura 1-a, dove il segno positivo significa guadagno di energia, il negativo perdita di energia.



Il processo di circolazione consiste nel catodo che perde l'energia Q_1 , l'anodo che guadagna l'energia Q_2 , e $Q_1 - Q_2 = Q_3$ convertita in calore nella resistenza al carico e trasportata all'ambiente circostante, il quale a sua volta lo ripassa al dispositivo.

Tutto il processo forma naturalmente una circolazione di energia.

12.4-A) SUGGERIMENTI PER RIPRODURRE IL DIODO NON-BIAS A STATO SOLIDO

Da quanto è stato posto in evidenza, l'esperimento di YELIN relativo al diodo non-bias a vuoto pneumatico è importante solo da un punto di vista teorico, in quanto dimostra l'erroneità degli assiomi relativi al Secondo Principio della Termodinamica. Il successivo esperimento di YELIN, relativo al diodo non-bias a stato solido, invece, è importante (o potrebbe essere importante) anche da un punto di vista pratico. Secondo YELIN ed i suoi colleghi inventori, infatti, questo diodo potrebbe produrre una densità di corrente elettrica pari a 800 A/cm^2 , qualora la dimensione dei "recessi" nell'elettrodo a semiconduttore fosse di $0,008 \text{ micron}$ (o 80

A).

Se qualche ricercatore indipendente volesse replicare tale ultimo esperimento, dovrebbe fare molta attenzione a non essere tratto in inganno dal modo in cui la domanda di brevetto del diodo non-bias, e la memoria pubblicata (ma poi scomparsa dalla rete) dalla rivista *Missiles and Space Vehicles* sono stati scritti.

Innanzitutto, bisogna notare che il termine Inglese “recesses”, usato nella domanda di brevetto, si può riferire sia a “buche” che a “solchi”. A tale riguardo, bisogna notare che la Figura n. 8.3 di cui sopra, identica a quella riportata nel frontespizio della domanda di brevetto presentata in Europa n. EP1 211 732A1, mostra un campo elettrico trasversale rispetto al “recesso” – campo raffigurato mentre attira verso la parete l’elettrone emesso dalla base.

Inoltre, nel Paragrafo 0022 di tale domanda di brevetto, è scritto che la forma preferita per i “recessi” è quella rappresentata nella Figura 3(f). Questa viene descritta come composta da scanalature longitudinali (o solchi), e non da “buche” quadrate o circolari. Inoltre, sempre da quanto risulta nella domanda di brevetto, le due pareti laterali dei solchi sono composte da materiali diversi, e ciò è coerente con l’esistenza del campo elettrico laterale di cui sopra, la cui esistenza sembra essere essenziale per il funzionamento del dispositivo. A tale proposito, si veda il Paragrafo n. 008 nella domanda di brevetto.

Altri errori da evitare sono i seguenti:

1) La distanza tra due solchi contigui deve essere piccolissima, vicina a 80 \AA . Ad esempio, una distanza di 0.8 micron potrebbe sembrare adeguata, ma in realtà sarebbe cento volte maggiore di 80 \AA e, secondo l’equazione empirica degli inventori (che probabilmente si riferisce alla temperatura ambiente), produrrebbe una densità di corrente di uscita inferiore a $0.24 \cdot 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, a fronte

di 800 A/cm^2 che sarebbero se la distanza fosse di 80 A.

2) La resistenza esterna di carico applicata al diodo non-bias deve avere un valore piuttosto elevato, adeguato o uguale alla resistenza interna del diodo.

3) Sarebbe opportuno isolare termicamente il dispositivo prima di introdurlo nel termostato. Infatti, all'interno del termostato potrebbero essere presenti gradienti di temperatura.

12.5 BLOG CINESE03.03.2005

Pagina 1:

生如夏花

[16世纪的海盗商人——王直](#) - | [回首页](#) | [2005年索引](#) | - [任志强：不可能让百姓都买房](#)

无偏二极管：能源新出路还是科学骗局？--

附件[天使和海豚.swf]：

<http://blog.blogchina.com/upload/2005-03-03/20050303184323907856.swf>

自2004年12月3日,光明日报刊登了记者周文斌、刘路沙采写的《无偏二极管有望开辟新的能源出路》，介绍了中科院生物物理研究所研究员徐业林发明的能够在室温下持续输出直流电源的无偏二极管装置后，各方反应强烈。素有反伪科学斗士之称的中科院院士何祚麻以及科普专家方舟子撰文批评它是为永动机，为伪科学。但是在他们的文章中却看不到有力的证伪证据。社会大众也众说纷纭，莫衷一是。值得玩味的是中科院的网站上也对这个事件进行了介绍，但采用的是转载《光明日报》报道的方式，没有明确的意见。

这到底是物理史和能源史上的一大突破，还是又一个“油变水”的科学骗局？不管怎样，中科院是这次事件的主角。如果这只是一场闹剧，那么显然中国最高科研机构的权威和尊严将扫地，大规模的改革恐不可避免。我们拭目以待，并在此愿尽绵薄之力促进讨论进一步深入。

文章第一部分：将引用光明日报的报道/

第二部分：全文转载徐业林的论文

第三部分：是我个人的一些看法

徐业林，1962年毕业于兰州大学现代物理系，1994年晋升为中国科学院生物物理所研究员。曾获国家发明奖(四等)、中科院“六五”攻关奖。1998年被评为中科院生物物理所建所40年有突出贡献的科研人员。他所研制的无偏二极管获美国、英国、俄罗斯、中国发明专利。

一、相关报道

Pagina 2:

无偏二极管有望开辟新的能源出路

光明日报 作者：周文斌 刘路沙 [2004年12月3日]

中国科学院生物物理研究所研究员徐业林发明的无偏二极管，从去年底到现在，陆续获得了俄、英、美、中四国的发明专利。

徐业林的无偏二极管工作原理是

在两块金属板之间夹一层半导体，两块金属板中一块是光滑的，另一块上布满了小坑。在不需要外加电能、化学能、太阳能等能量的条件下，只要环境温度高于负273°C，该器件就能奇迹般地输出直流电流。

无独有偶，近年来国外也有科学家对小坑电场现象进行了定量计算与实际测量，证明小坑内确实存在电场。

徐业林在专利中指出，坑的直径愈小电流愈大，如果能将坑的直径缩小到现在的百分之一，输出的电流就有可能带动家用小型汽车。而这将是一种取之不尽、完全没有污染的新型能源。

"无偏二极管"发明人徐业林的短文。

针对"无偏二极管"的报道，大家在网上发表的议论我看过了，感谢大家对我的关心，并在这里给我创

造一个发言的机会。对于大家关心的问题我作如下答复：

一、判定一件事物的真伪，必须有铁证。那么，判定无偏二极管真伪的铁证是什么呢？这就是：①当面制作样品并测量。②负温效应实验。

对于①不用解释。这里我们只解释②。实验是这样进行的，用一个灵敏的温度计测量一个正在发电的无偏二极管的温度，测量结果表明该二极管的温度自行地降至室温以下。这一测量结果与《导弹与航天运载技术》2000年第三期文中的分析完全一致。

二、热力学第二定律是一个经验定律，没有进行过严格的科学证明。定律产生的当时既没有

量子力学，也没有微电子学。随着现代科学技术的飞速发展，很多以前认为是不可能的幻想，却奇迹般地变成了现实。上述铁证，就是其中一例。在它面前，我们只有一条出路，就是让理论跟着实验走，补充完善老的热二律，而不能相反，更不能削足适履。如果大家一直墨守着亚理士多德时代的物理常识，那么何言社会进步，何言人类文明。完善热二律的具体办法请见《导》文，该文建议将热二律补充成如下形式：在一个微观粒子不对称热运动效应可以忽略不计的孤立系统中，熵趋于增大（A）。这种陈述方法，应该说与教科书无任何矛盾，容易被大家接受。然而，当时在我心中还有几句话，由于怕引起过大的争议，没敢说。但是在今天，有了四国发明专利，有多位学者重复出来我的实验，还有众多专家看过我的实验，他们对《导》文实验不持否定态度。因此，在这里我敢说心里话了：将（A）反过来说，就是，在一个微观粒子不对称热运动效应不可以忽略不计的孤立系统中，熵趋于减少（B）。将（A）和（B）合到一起，这就是补充后的定律，称为完整的热力学第二定律。老定律的其他说法，全部作为新定律的应用实例，这样定律就变得很简练。无偏二极管可用（B）解释。在完整的热力学第二定律中，撤消了“第二类永动机”的说法。具体分析请详见《导》文。

三、实践是检验真理的唯一标准。我欢迎国内外各大学师生重复我《导》文中的实验。有意者请与我联系，以便给您寄去相关的技术资料。在实验中如还有技术困难，我将继续协助你们。必要时我也可以去现场讲解论文，传授样品制作和负温效应实验的技艺，并解答问题。实验所用的仪器是一台普通的电阻真空镀膜机，型号不限，实验方法简单，所需费用很少。

四、最后我要特别说明的是，任何一项新技术的发展都要分两步走：第一步是肯定现象，即解决“有和无”的问题；第二步是应用，要解决的问题是“好”的问题。《导》文只解决了前一步的问题。关于第二步问题，现在不讨论。

二、论文

2000年 第3期
总第245期

导弹与航天运载技术
MISSILES AND SPACE VEHICLES
2000 No.3 P.53-60

No.3 2000
Sum No.245

12.6 TRADUZIONE DEL BLOG CINESE 2005

Nonbias diode : New way to obtain energy or Cheating in Science?

On Dec 3, 2004 Guanming Daily (one of most important newspaper in China ; note by translator) published a paper entitled by “Nonbias diode expected to develop new energy.” The paper reported a nonbias diode which output a continuous direct current at room temperature without any bias current or voltage invented by Yelin Xu, a senior researcher at Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101.

Such scientists as Zuoma He, a Chinese academician and Zhouzi Fang, an expert criticized the inventor regarding the invention as a forever engine (perpetual motion machine). However no evidence was presented to show what was wrong on the nonbias diode.

Is this a milestone in physics and energy history or it is a cheating in science because the invention looks like funny as people could change water into oil?

Yelin Xu graduated in Department of Modern Physics from Lanzhou University in 1962. He was promoted to be a senior researcher (a professor level) at Biophysics Institute, Chinese Academy of Science in 1994. His nonbias diode obtained the invention patent in USA , in UK , in Russian and in China .

1. Report

The principle of the nonbias diode invented by Xu is: when a semiconductor is sandwiched between two metal plates and the temperature is higher than -273K , the device can output a direct current without the injection of electric energy, chemical energy and

solar energy. One of the metal plates has a smooth surface while another one has many small wells (small pits).

In addition electrical field has been reported to exist in the small wells of materials by other groups who showed their measurement and simulation results recently.

Xu reported in his patent that the smaller diameters the wells have, the higher current the nonbias diode will output. If the diameters of the holes could decrease to one percent of the diameters available now, the output current could drive a mini-car. This will be a totally new endless energy source without any pollution.

Reference: Wenbing Zhou and Lusha Liu, “Nonbias diode expected to develop new energy,” Guanming Daily, Dec. 3, 2004.

2. Report by Yelin Xu

Thank you for your attention to nonbias diode. How to tell from what is true and what is false? First, a sample must be prepared and tested. Second, an experiment must be done on minus temperature effect.

What is minus temperature effect? Using a high sensitive thermometer to measure a nonbias diode you can find the temperature of the nonbias diode drops to be lower than room temperature. The result is in agreement with the analysis reported [Missile and SPACE VEHICLES, No.3, 2000]

When the second theorem of thermodynamics was presented neither quantum dynamics nor microelectronics exists. The theorem is not faultless and it needs to be modified. Now many fictions have become reality. The modification can be seen in reference [Missile and SPACE VEHICLES, No.3, 2000] as follows: when the

asymmetric thermal motion of micro-particle is ignored the entropy of an isolated system increases. However, when the asymmetric thermal motion of micro-particle cannot be ignored the entropy of an isolated system decreases. The phenomena of nonbias diode obeys the latter. This will refute the criticism involving the second type of perpetual motion machine.

1. The Experiment and Analysis on Nonbias Diode

Xu Yelin

(Institute of Biophysics , Chinese Academy of Sciences ,
Beijing, 100101)

Abstract A nonbias diode is such a diode that can perform single direction conductivity without any bias current or voltage. Because of the thermal motion of the conductive electrons in a conductor and semiconductor, when both ends of the nonbias diode are connected with a wire, a continuous and steady direct current which can drive load will flow through the wire. It has now reached performances of 100 mV and 0.1 μ A. The voltage has already reached its peak whereas the current still has a great potentiality to be increased. The nonbias diode therefore has a wide application prospect. This paper introduces the manufacturing method, the measurement results of the performances, the analysis on the working principle and the analysis on the energy of the nonbias diode. The energy of nonbias diode is a result of an effective application of the natural cycle.

Key Words Nonbias diode, Parallel plane diode, Thermal motion of conductive electrons, Electron well, Energy cycle, Internal energy engine.

12.7 BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N.

1206242 DEL 14 APRILE 1989

Nel seguito è riportata la domanda di brevetto n. 4756687, presentata in Italia dall'autore il 26 Gennaio 1987. L'attestato di brevetto è stato concesso il 14 Aprile 1989. Successivamente, trascorso il periodo di tempo stabilito per legge, il brevetto è scaduto per cui chiunque lo può realizzare gratuitamente.



MODULARIO
INDUSTRIA, COMMERCIO
E ARTIGIANATO 114

Mod. I-48

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
D.G.P.I. - UFFICIO CENTRALE BREVETTI

BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

1206242 

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda sotto specificata:

N. DOMANDA	MIN.	ISB. PROV.	UFFICIA	CODIC.	DATA PRES. DOMANDA						
					S	M	A	H	M	P	
756687		SR	ROMA	100582601870000000							

TITOLARE VIGNATI MAURIZIO
A ROMA

IND. TIT. VIA A. BALDASSARRI, 25 ROMA

TITOLO METODO DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA
TERMICA IN LAVORO E CONVERTITORE
CHE NE RISULTA

INV. DES. VIGNATI MAURIZIO



14 APR. 1989

IL DIRETTORE

[Handwritten signature]

Roma, li _____

DESCRIZIONE

dell'invenzione industriale del titolo:

“Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta”

di VIGNATI MAURIZIO

di nazionalità Italiana, domiciliato in Roma Via Angelo Baldassarri 25.

RIASSUNTO

La presente invenzione riguarda un metodo per convertire energia termica in energia meccanica o altre forme di energia, attraverso un gruppo di macchine termiche. Il metodo proposto è basato sull'accoppiamento termico e meccanico di due sottosistemi; il primo sottosistema assorbe lavoro meccanico e come risultato assorbe calore da una sorgente fredda e cede calore a una sorgente calda. L'altro sottosistema utilizza questa differenza di temperatura assorbendo calore dalla sorgente calda e cedendone una parte alla fredda. Questo secondo sottosistema genera quindi lavoro meccanico. Una parte di detto lavoro viene utilizzato per far funzionare il primo sottosistema e il rimanente è a disposizione per altre utilizzazioni. Il complesso descritto realizza un completo sfruttamento del calore di una sorgente.

Attualmente la conversione di energia termica in energia meccanica è ottenuta con macchine termiche che assorbono calore da una sorgente calda, cedono calore ad una sorgente fredda e trasformano la differenza di calore in energia meccanica.

La presente invenzione ha per oggetto un sistema composto come sopra, combinato però con un altro sistema a funzionamento invertito allo scopo di ottenere un completo sfruttamento del calore

di una sorgente.

Dunque il metodo proposto è basato sull'accoppiamento, termico e meccanico di due sottosistemi.

Un primo sottosistema assorbe lavoro meccanico e come risultato assorbe calore da una sorgente fredda t e cede calore ad una sorgente calda T .

Questa duplice azione da un lato tende a raffreddare t e dall'altro a riscaldare T .

L'altro sottosistema utilizza questa differenza di temperatura assorbendo calore dalla sorgente T e cedendone una parte a t .

Questo secondo sottosistema genera quindi del lavoro meccanico.

Una parte di questo lavoro viene utilizzato per far funzionare il primo sottosistema mentre il rimanente resta disponibile per altre applicazioni.

In quanto detto è implicito che il secondo sottosistema funziona come motore con un ciclo che chiameremo normale, mentre il primo funziona come un assorbitore di energia meccanica con un ciclo che chiameremo invertito.

Le condizioni che si devono realizzare affinché il sistema possa funzionare sono le seguenti:

a) La quantità di calore che il ciclo normale assorbe dalla sorgente calda T deve essere resa uguale, in valore assoluto, a quella che il sistema invertito invece le cede;

b) La quantità di calore che il ciclo invertito assorbe dalla sorgente fredda t deve essere in valore assoluto maggiore di quello che il ciclo normale le cede.

L'uguaglianza dei calori sottratti e ceduti alla sorgente T implica che questa sorgente tenderà a mantenere la sua temperatura.

La differenza di calore esistente a carico della sorgente fredda t ,

tenderebbe a raffreddarla sempre più, quindi, una volta raggiunta la temperatura ottimale di funzionamento, dovrà essere introdotto un contatto termico calibrato con la sorgente calda, che cederà a t quella quantità di calore sufficiente a mantenere la temperatura desiderata.

Con riferimento alla Fig. 1, consideriamo una macchina termica che lavori in modo normale assorbendo il calore Q_{2A} dalla sorgente calda T , cedendo una parte Q_{1A} di questo calore alla sorgente fredda t e producendo il lavoro L_A .

Chiameremo con A detta macchina.

Esista poi anche la macchina termica reversibile B che lavora invertita con un ciclo anche diverso da A assorbendo il lavoro L_B e il calore Q_{1B} dalla sorgente fredda t e cedendo il calore Q_{2B} a quella calda T .

Supponiamo altresì che Q_{1B} sia, in valore assoluto, maggiore di Q_{1A} e che quindi t tenda a raffreddarsi.

Per evitare questo raffreddamento introduciamo la quantità di calore Q proveniente da T , tale da annullare il bilancio calorico di t e facciamo le seguenti ipotesi, con la consueta convenzione che vuole il lavoro uscente e il calore entrante entrambi positivi e lasciando i segni incorporati nei simboli:

$$Q_{2A} + Q_{2B} = 0 \quad (1) \quad \text{e} \quad Q + Q_{1A} + Q_{1B} = 0 \quad (2)$$

Dal bilancio energetico delle due macchine abbiamo:

$$Q_{2A} + Q_{1A} + L_A = 0 \quad (3) \quad ; \quad Q_{2B} + Q_{1B} + L_B = 0 \quad (4)$$

Ricavando Q_{1A} e Q_{1B} da queste due relazioni e sostituendo nella (2) abbiamo:

$$Q - L_A - Q_{2A} - L_B - Q_{2B} = 0 \quad (5)$$

ma per la uguaglianza (1) possiamo eliminare Q_{2A} e Q_{2B} quindi:

$$Q = L_A + L_B \quad (6)$$

Dunque, secondo le due ipotesi (1) e (2), ci sarebbe un lavoro nel complesso positivo, cioè utile, secondo la convenzione fatta, una sovrabbondanza di lavoro utile esattamente equivalente al calore Q assorbito da t .

Osserviamo che se Q mancasse, la sorgente t tenderebbe a raffreddarsi poiché cede più calore Q_{1B} di quanto ne riceva, Q_{1A} da A e, poiché $T > t$, nulla vieta che la differenza di calore Q possa essere fornita direttamente da T , come detto in precedenza.

Se dunque T fornisce esattamente la quantità di calore necessaria ad evitare la diminuzione di energia interna di t , allora il sistema descritto può continuare a funzionare in condizioni stazionarie.

Nulla vieta in quanto detto di poter considerare l'ambiente stesso come sorgente calda T .

Terminata questa parentesi, continuiamo ad analizzare conseguenze delle ipotesi (1) e (2).

Dalla (6) vediamo che, essendo Q positivo per definizione, segue:

$$L_A > L_B \quad (7)$$

Scriviamo ora il rendimento delle due macchine A e B applicando la definizione generale secondo cui esso è il rapporto tra le energie utili uscenti e le energie entranti.

Nel caso di A , poiché Q_{1A} non è utile, va scartato dal conteggio e il rendimento del ciclo normale A è dato dal rapporto seguente:

$$Rn_A = |L_A| / |Q_{2A}| < 1 \quad (8)$$

Non così avviene per B poiché Q_{1B} è una energia entrante al pari di L_B e quindi non può essere scartato, l'unica energia uscente è Q_{2B} quindi il rendimento del ciclo invertito B è:

$$Ri_B = |Q_{2B}| / |L_B + Q_{1B}| = 1 \quad (9)$$

Si vede subito che tale rapporto è uguale a 1, infatti dal bilancio energetico (4) di B si ha:

$$Q_{2B} = L_B + Q_{1B}$$

Se invece la macchina B fosse fatta funzionare in modo normale, cioè con produzione di lavoro, tra le stesse temperature, allora il suo rendimento sarebbe:

$$Rn_B = |L_B|/|Q_{2B}| < 1 \quad (10)$$

Dunque un ciclo termodinamico che si svolga tra due temperature in modo invertito, ha un rendimento diverso dallo stesso ciclo che si svolga tra le stesse temperature ma in modo normale.

Ma torniamo ora alle conclusioni delle nostre due ipotesi iniziali.

Applichiamo la relazione (7) alla relazione (8) e (10), otteniamo:

$$Rn_A > Rn_B \quad (11)$$

mentre nessuna relazione possiamo trovare tra i rendimenti che interessano i due cicli del sistema proposto e cioè Rn_A e Ri_B .

Possiamo ottenere soltanto considerazioni estranee al nostro sistema in esame e cioè dire che le ipotesi (1) e (2) possono essere verificate solo se le due macchine A e B, fatte funzionare entrambe in modo normale, cioè con produzione di lavoro, avessero rendimenti diversi.

A ciò però non troviamo ostacolo se teniamo presente quanto osservato marginalmente prima e cioè che un ciclo termodinamico normale ha già un rendimento diverso dallo stesso ciclo che si svolga però invertito, tra le stesse temperature, mentre le macchine A e B svolgono cicli diversi con diversità eventualmente anche nel tipo di fluido impiegato e potranno trovarsi cicli diversi con diverso rendimento tra due stesse temperature.

Ritenere che $Rn_A = Ri_A$ e ritenere valido il postulato di Kelvin e Clausius, sono gli errori che inficiano la validità del Teorema di CARNOT.

Infatti detti postulati non sono altro che una constatazione della "pratica" impossibilità di realizzare un moto perpetuo di seconda

specie secondo Ostwald.

Due cicli termodinamici che, funzionando tra le stesse temperature, hanno rendimenti normali diversi, sono stati trovati, per cui vogliamo qui descrivere una particolare versione del trovato a titolo illustrativo e non limitativo del brevetto.

I due cicli trovati si ottengono per ogni tipo di gas in vicinanza del punto critico.

Con riferimento alla Fig. 2 osserviamo il diagramma P, v dell'Argon.

In figura 2 sono disegnati due cicli, il ciclo primario BCDA si svolge tra la isoterma ADF con temperatura di $t=151$ gradi Kelvin, ovvero -122°C , e un'altra isoterma BCJ con temperatura $T=180$ gradi Kelvin ovvero -93°C .

Descriveremo il sistema per l'Argon anche se da un punto di vista pratico di difficile realizzazione, perché esiste per questo gas una dettagliatissima documentazione dovuta a Gosman e altri dal titolo: “*Thermodynamic properties of Argon from the triple point to 300 °K at pressures to 1000 Atmospheres*”, NSRDS - NBS 27, 1969, Boulder, Colorado, United States Department of Commerce.

Sulla scelta del tipo di gas torneremo in seguito.

Nella Fig. 2 il ciclo primario è affiancato da un ciclo secondario FJCD che si svolge tra le stesse temperature t e T ma è invertito.

Come è ben noto, nel diagramma P, v , l'energia utile di un ciclo è rappresentata dall'area da esso racchiusa, mentre l'area sottesa da ogni elemento di curva rappresenta il lavoro o il calore necessario ad eseguire quella trasformazione.

Proseguendo nell'esame della Fig. 2 osserviamo nel ciclo primario la presenza della trasformazione BC che è una espansione isoterma, che sottrae calore alla sorgente T , nell'altro ciclo la trasformazione JC è una compressione isoterma che cede calore a T .

Da un punto di vista pratico queste trasformazioni si possono realizzare con dispositivi a volume variabile posti in contatto termico con T e quindi anche tra loro.

Il criterio di dimensionamento deve essere quello di rendere nullo complessivamente il calore scambiato con T da parte di BC e JC.

La trasformazione DA è una compressione isoterma alla temperatura t, mentre DF è una espansione isoterma alla stessa temperatura.

I dispositivi che realizzano tali trasformazioni sono analoghi ai precedenti e sono in contatto termico con t e quindi tra loro.

Le frecce in Fig, 2 indicano il verso di percorrenza del gas nei cicli.

I due cicli si chiudono con le isobare AB e CD per il primario e con CD e FJ per il secondario.

Queste isobare sono realizzate con una serie di scambiatori di calore che vedremo nel seguito.

Queste isobare non producono ne assorbono lavoro meccanico, al loro interno gli scambi termici frazionati producono solo variazioni di energia interna nei due flussi di gas.

Esaminiamo in dettaglio gli scambi energetici. Dalla tabella della citata pubblicazione NBS, si sono estratti i valori dell'energia interna U nei sei punti nodali dei cicli della Fig, 2; la Tabella 1 seguente riporta tali valori.

In detta tabella l'ultima riga riporta la pagina della suddetta pubblicazione dove è reperibile il relativo dato, mentre i valori della densità sono stati convertiti anche nei corrispondenti valori del volume specifico in cm^3/g con banali cambi di unità di misura.

STATO	A	B	D	C	F	J
Vol.Spec.(cm ³ /g)	1,208	4,434	1,427	5,710	4,767	7,603
Dens.(mol/litro)	20,70	5,645	17,54	4,383	5,250	3,292
Ener.Int.(J/mol)	6246	8391	6655	9146	8526	9337
Pressione (atm)	60	60	50	50	40	40
Temperatura(°K)	151	180	151	180	151	180
Temperatura(°C)	-122	-93	-122	-93	-122	-93
PAGINA	99	100	97	98	93	94

TABELLA 1

Il lavoro meccanico associato ai vari dispositivi a volume variabile è composto ognuno di due termini.

Il primo tiene conto del lavoro fatto o ricevuto, dovuto alla trasformazione termodinamica.

Se approssimiamo i tratti di isoterme a rette, detti lavori sono rappresentati dall'area dei triangoli BCZ, DFY, DAX, JCW, dove i primi due sono di segno positivo, essendo i lavori uscenti, mentre gli altri due sono negativi essendo i lavori entranti.

Il secondo termine dei lavori nei dispositivi, tiene conto del fatto che essi operano in un ciclo e pertanto vi sono dei lavori supplementari determinati dal fatto che ogni dispositivo deve essere completamente evacuato per prepararlo al ciclo successivo.

Poiché lo svuotamento e il riempimento totale presuppongono l'annullamento del volume interno finale e iniziale del dispositivo, ne segue che i rispettivi lavori saranno dati dall'area dei rettangoli B-Z-P2-P3, D-Y-P1-P2, A-P3-P2-X, e C-P2-P1-W, rispettando l'ordine precedente e dove sempre i primi due sono positivi e gli altri

due negativi.

Facendo la somma algebrica di dette aree vediamo dalla Fig. 2 che il lavoro risultante è dato, per il ciclo primario dall'area ABCD e per il ciclo secondario dall'area JCDF, come detto in precedenza.

Tuttavia, dovendo attribuire ad ogni dispositivo il relativo lavoro, si dovrà tenere conto, per ognuno di essi, non solo del lavoro relativo alla trasformazione termodinamica, ma anche dei rispettivi lavori di carico e scarico.

Con dette premesse, dalla Tabella 1 ricaviamo le differenze di energia interna di ogni trasformazione, il lavoro associato si calcola con le aree suddette mentre la relativa quantità di calore si calcola applicando il Primo Principio della Termodinamica.

Ad esempio per l'espansione BC la quantità di calore è data da:

$$Q_{BC} = L_{BC} + (U_C - U_B) \quad (12)$$

dove L_{BC} è il lavoro totale svolto dal dispositivo che esegue la trasformazione BC e U_C e U_B sono le energie interne finali e iniziali della trasformazione. Analogamente per le altre trasformazioni.

Possiamo così compilare la seguente TABELLA 2

RAMO	AB	BC	CD	DA	CD	DF	FJ	JC	TOT.
L(J/mol)	0	205,3	0	-53,3	0	125,3	0	-269,4	7,9
U(J/mol)	2685	215,0	-2491	-409,0	-2491	1871,0	811	-191,0	0,0
Q(J/mol)	2685	420,3	-2491	-462,3	-2491	1996,3	811	-460,4	7,9

Nella Tabella 2 tutte le energie sono espresse in J/mol mentre i lavori sono stati convertiti dalla unità di misura atm.cm³/g in J/mol con il fattore di conversione 4,047, valido per l'Argon.

Ogni colonna riporta gli scambi energetici in valore e segno relativamente ad una trasformazione.

L'ultima colonna dà i totali delle varie righe.

Notiamo che, mentre l'energia interna ha una sommatoria nel complesso nulla, come è d'obbligo, non così accade per il lavoro ed il calore, le cui risultanti sono entrambe positive, rappresentando dunque calore entrante e lavoro uscente; il calore entrante corrisponde esattamente al lavoro uscente.

Nella compilazione della Tabella 2 si è fatta la ipotesi esemplificativa di considerare i rami delle isoterme come rettilinei.

Questo implica necessariamente un errore sul valore finale del lavoro utile nel senso che esso non sarà equivalente a 7.9 J/mol ma sarà diverso.

Un calcolo più esatto è possibile in quanto a pagina 10 della citata pubblicazione NBS è riportata una formula empirica, ricavata dagli autori, che fornisce in maniera estremamente esatta la pressione dell'Argon in funzione della temperatura.

Utilizzando questa formula e applicando un metodo analitico di integrazione o un metodo approssimato come quello di Simpson, è possibile ottenere un valore molto esatto dell'area dei due cicli termodinamici.

Tuttavia vogliamo qui mostrare come questo calcolo sia inutile agli effetti della determinazione circa la possibilità o meno che il metodo proposto possa funzionare.

Infatti dall'esame della Fig. 2 si vede chiaramente che questo calcolo non potrebbe apportare che una correzione del secondo ordine e in nessun caso detto lavoro utile potrebbe annullarsi.

Osserviamo infatti dalla Fig. 2 che, in sostanza, il metodo proposto è basato sulla differenza esistente tra il lavoro di compressione lungo una stessa isoterma, vicina a quella critica, a seconda che ci si ponga a sinistra del volume critico $v = 1,86 \text{ cm}^3/\text{g}$ o a destra.

Per l'Argon la temperatura critica è $T = 150,86^\circ\text{K}$ e l'isoterma a 151°K è quella a temperatura maggiore di T , più vicina ad essa ad essere tabulata nella citata pubblicazione NBS.

A parità di temperatura (151°K) il salto di pressione di 10 atm, per la compressione DA, è compiuto con una variazione di volume enormemente inferiore di quella che invece provoca lo stesso salto di pressione nell'espansione DF.

Invece nella isoterma a 180°K gli stessi salti di pressione sono ottenuti da BC e da JC con variazioni di volume molto simili.

E' chiaro dunque che un calcolo più preciso non potrà annullare questa sostanziale differenza.

Quanto sopra per ciò che riguarda i lavori meccanici.

Per quanto riguarda invece le differenze di energia interna notiamo ancora dalla Tabella 2 che le differenze di energia interna tra le quattro isobare hanno una sommatoria non nulla ma anzi del notevole valore di -1486 J/mol .

Ciò vuol dire che, pur disponendo di perfetti scambiatori di calore, vi sarà sempre tale differenza di calore tra i quattro flussi isobari e tale differenza sorge a causa della grande variazione di calore specifico del gas nei pressi del punto critico.

Per essere pessimisti supponiamo che tale differenza di calore sia a tutto svantaggio della sorgente fredda t .

Complessivamente, perciò -1486 J/mol corrispondano ad un calore fornito a t ; tuttavia a carico della sorgente t esistono anche i dispositivi DA e DF cui corrispondono le quantità di calore rispettivamente di $-462,5 \text{ J/mol}$ e $1996,3 \text{ J/mol}$.

La somma algebrica di queste tre quantità di calore spettanti a t non è nulla ma vale $48,0 \text{ J/mol}$ equivalenti ad un calore sottratto a t .

Dunque, anche nella pessimistica ipotesi prospettata in t vi è

comunque un eccesso di calore sottratto.

Queste considerazioni sul lavoro meccanico e sul calore spettante a t portano dunque a concludere che, anche da un punto di vista tecnico, il metodo proposto deve funzionare.

Poiché il comportamento dei gas nel punto critico e nei suoi pressi è simile per tutti i gas, quanto detto per l'Argon si applica in generale ad ogni gas, in linea di principio quindi, la scelta del tipo di gas da impiegare effettivamente dovrà essere fatta con il criterio che la sua temperatura critica dovrà essere inferiore alla minima temperatura ambiente a cui si pretende che il sistema debba ancora funzionare.

Al di sotto di tale temperatura il sistema potrà funzionare solo a condizione che, mediante mezzi di riscaldamento esterni si ricostituiscano le condizioni di temperatura richieste.

E' evidente che in tal caso si perde il principale vantaggio offerto dalla presente invenzione, cioè quello di poter ottenere energia meccanica senza dover riscaldare la sorgente calda a una temperatura superiore a quella ambiente.

Tuttavia, anche in questo caso, dato che la sorgente T è energeticamente neutra, può essere portata alla temperatura richiesta con mezzi esterni, mantenendola però isolata dall'ambiente.

Questo significa ovviamente, che essa non dissiperà che una minima parte del calore necessario al funzionamento, che sarà perciò rappresentato quasi totalmente dal calore fornito a t per evitare che la sua temperatura diminuisca e quindi il rendimento totale del sistema sarà, anche in questo caso sfavorevole, un rendimento vicino al valore 1, molto più alto di qualsiasi altra macchina termica.

Osserviamo marginalmente che, come detto, le isobare avvengono dentro scambiatori di calore che non possono eguagliare esattamente le temperature di ingresso e uscita da ogni sorgente.

Sarà però possibile portare comunque il gas all'equilibrio termico

con la sorgente in cui confluisce, mediante un opportuno contatto termico con la sorgente stessa, prima che il gas stesso sia introdotto nel dispositivo a volume variabile.

Analogamente, i gas uscenti dai dispositivi a volume variabile possono essere termalizzati con la sorgente stessa.

In definitiva le isobare si possono completare parzialmente negli scambiatori di calore addizionali suddetti.

Questo accorgimento può consentire un aumento di velocità di rotazione.

Infatti se le espansioni e compressioni non sono perfettamente isoterme, vi saranno aumenti di temperatura finali per le compressioni e diminuzioni di temperatura finali per le espansioni, ma tali effetti tenderanno a compensarsi tra loro se vi sarà uno stretto contatto termico tra ogni sorgente e i flussi di gas dei rispettivi dispositivi a volume variabile.

Vi sarà dunque una diminuzione di lavoro prodotto in ogni ciclo ma in compenso una maggiore velocità di rotazione e minori squilibri di temperatura negli scambiatori di calore.

Descriveremo ora una particolare realizzazione tecnica del già particolare ciclo termodinamico della figura 2, senza che ciò pregiudichi la validità generale del brevetto.

Come si è detto i due cicli sono chiusi da isobare AB e CD per il primario e da FJ e CD per il secondario.

Da un punto di vista pratico esse sono realizzate da una serie di scambiatori di calore isolati tra loro e dall'ambiente.

Nella Fig. 3 è illustrato uno schema di principio di tale disposizione con quattro scambiatori a flussi concordi.

Nel suo complesso un tale dispositivo è costituito da una serie di tubazioni che collegano in serie degli scambiatori di calore S_1 , S_2 ,

S_3, S_4 .

Ognuno di questi scambiatori è costituito da due volumi interni tra loro separati ma in stretto contatto termico tra loro.

Ogni semi-volume ha un tubo di ingresso e uno di uscita.

I tubi di ingresso di ogni sezione sono collegati ai tubi di uscita della precedente e viceversa.

Si viene così a formare una tubazione doppia che realizza le due sezioni isobare FJ e CD del ciclo secondario.

Ad intervalli dunque queste due tubazioni confluiscono in un unico corpo scambiatore di calore.

Essendovi internamente tra le due sezioni un buon contatto termico, accadrà che, se dai due tubi di ingresso il gas fluisce con temperature diverse, all'uscita si avranno due temperature circa uguali, di valore intermedio a quelle di ingresso.

Possiamo dire che gli scambiatori di calore S_1, S_2, S_3, S_4 agiscono come tanti corpi di corto circuito termico per i due flussi di gas.

Ogni scambiatore di calore è isolato termicamente dall'ambiente e dagli altri ed è contenuto in involucri resistenti alla pressione interna.

Consideriamo ad esempio S_2 , in esso confluiscono due flussi di gas, uno a temperatura T_2 , l'altro a temperatura t_1 . Le due temperature di uscita T_3 e t_2 tenderanno ad essere tanto più vicine quanto migliore sarà il contatto termico interno e più lungo il tempo di percorrenza.

Analogamente per gli altri.

I tubi di collegamento tra i corpi S_1, S_2, S_3, S_4 sono isolati e costituiti da materiale cattivo conduttore di calore.

In questo modo il salto di temperatura $T-t$ viene diviso in tanti intervalli e, tanto più numerosi saranno gli scambiatori di calore, tanto più lo scambio di temperatura sarà perfetto.

Questo sistema di scambiatori di calore in pratica tende a scambiare le temperature dei due flussi di gas mantenendone inalterata la pressione in ogni ramo.

Nel ramo CD ad esempio il gas fuoriesce dal dispositivo che realizza l'espansione BC, entra negli scambiatori di calore, fuoriesce poi in D alla stessa pressione ma con temperatura diminuita.

Questa diminuzione di temperatura è ottenuta riscaldando il gas contenuto nell'altro ramo FJ.

Essendo questo un sistema coibentato, non richiede né genera calore. Nulla cambia in quanto detto se allo interno degli scambiatori di calore i flussi di gas fossero incrociati invece che concordi.

E' dunque stabilito che con il sistema suddetto è possibile chiudere il ciclo FJCD in modo che alle uscite degli scambiatori di calore il gas abbia delle caratteristiche di temperatura e pressione vicine a quelle adatte, secondo quanto detto prima, per essere utilizzate nelle sezioni JC e DF a volume variabile.

Un discorso del tutto analogo vale per il ciclo ABCD che avrà bisogno di un altro sistema di scambiatori di calore.

Nella Fig. 4 è illustrato un particolare modo di costruire un elemento di scambiatore di calore, senza che ciò voglia escludere altri metodi.

La Fig. 4 illustra il dispositivo in sezione.

Detto scambiatore è costituito da un contenitore cilindrico di acciaio 4, chiuso alle due estremità da due tappi cilindrici 5 e 6.

Esso contiene i tubi cilindrici e concentrici 1, 2 e 3.

La tenuta ermetica è assicurata da due anelli in elastomero 12 e 13.

Un insieme di viti 14 disposte a corona attorno ai tappi 5 e 6, si avvitano su altrettanti fori filettati praticati sul corpo 4 per fissare i tappi stessi contro il corpo 4, resistendo alla forza interna dovuta alla pressione del gas.

Sui tappi, internamente, sono praticati dei solchi circolari concentrici.

Ad esempio nei solchi 15 e 19 sono alloggiati degli anelli di tenuta in elastomero simili al 12 ma di diametro adeguato per adattarsi al diametro del tubo 1, analogamente per i tubi 2 e 3 vi sono altri anelli.

Il diametro e lo spessore dei solchi 15 e 19 è tale da alloggiare per un breve tratto anche le estremità del tubo 1.

I tubi 1, 2 e 3 sono fatti di materiale buon conduttore di calore.

Sui tappi 5 e 6 sono praticati dei fori 11, 16, 17 e 18.

I fori 11 e 17 collegano gli interstizi dispari tra gli anelli di tenuta rispettivamente con le tubazioni 7 e 9, mentre i fori 16 e 18 collegano gli interstizi pari con le tubazioni 8 e 10.

Le tubazioni 7, 8, 9 e 10 costituiscono gli ingressi e le uscite dell'elemento scambiatore di calore.

Le misure del sistema in esame sono calcolate in modo che il serraggio delle viti 14 determina contemporaneamente lo schiacciamento degli anelli di tenuta verso l'atmosfera 12 e 13 e degli anelli relativi ai canali circolari.

Detti ultimi anelli sono schiacciati dalle estremità circolari dei tubi 1, 2 e 3.

Si viene così a determinare dentro il cilindro una separazione fisica resistente alle differenze di pressione esistenti tra un tubo concentrico e l'altro.

Gli interstizi tra i tubi sono in comunicazione alternativamente con i condotti 7 e 8 da un lato e dall'altro lato con 9 e 10, senza più comunicazione interna diretta tra loro.

Quindi con tale dispositivo si può ottenere un buon contatto termico tra i due flussi di gas a differente pressione che percorrono

alternativamente gli interstizi. Il contatto termico avviene attraverso la conducibilità termica delle pareti dei tubi.

Le dimensioni sono scelte in base al flusso di gas in modo che le temperature di uscita siano il più possibile uguali.

Lo scambiatore completo sarà costituito da tanti di questi elementi collegati in serie attraverso i canali 7, 8, 9 e 10, secondo lo schema di Fig. 3.

I dispositivi a volume variabile possono essere costituiti in vario modo. Vogliamo qui descrivere un tipo prescelto, senza che tale scelta sia essenziale ai fini della generalità del brevetto.

Il tipo prescelto è a palette rotanti.

Tale tipo presenta numerosi vantaggi nell'applicazione specifica.

Anzitutto non presenta angoli morti ma la spinta è sempre presente per tutto l'arco della rotazione esistente tra due palette.

Questo è di particolare interesse qui perché le trasformazioni isoterme sono lente e un dispositivo che non presenti punti morti elimina la necessità di un volano troppo grande.

Inoltre non vi sono valvole di ingresso e uscita e, soprattutto, non hanno un ciclo di aspirazione e scarico separati temporalmente dal ciclo di spinta.

Ciò riduce sbalzi ciclici di pressione interna, riducendo quindi il volume di eventuali accumulatori di pressione per stabilizzarne il valore.

Unico svantaggio è costituito dalla complessità del sistema di guarnizioni che devono essere inserite per garantire una perfetta tenuta tra una paletta e l'altra e tra ingresso e uscita.

La perfezione di tale tenuta è essenziale perché, come detto, le trasformazioni isoterme sono lente.

Come noto, tali dispositivi sono costituiti da un rotore cilindrico che

ruota all'interno di una cavità pure cilindrica.

L'asse del rotore è traslato parallelamente a quello del cilindro in modo che la superficie laterale del rotore sfiori la superficie interna del cilindro lungo tutta la generatrice.

Alcuni tagli sono praticati sul rotore e dentro di essi scorrono le palette.

Poiché tali dispositivi sono ben noti nella tecnica pneumatica, non staremo a descrivere tutti i dettagli ma esamineremo con più impegno quelle modifiche strutturali necessario per renderli adatti al nostro scopo.

Nella Fig. 5 è illustrato uno dei suddetti dispositivi in una vista in pianta, dopo aver tolto le basi di chiusura, la chiusura delle due basi del cilindro è ottenuta con due semplici piastre circolari recanti mezzi per ridurre l'attrito di rotolamento dell'asse del rotore 34, mezzi per posizionare e serrare correttamente le piastre stesse rispetto al cilindro e recanti anche guarnizioni anulari per ottenere una chiusura ermetica sulla circonferenza di base del cilindro rispetto al suo esterno.

Con riferimento alla Fig. 5 si può osservare la disposizione delle guarnizioni interne che sono sistemate, in generale, con il criterio che le parti metalliche in movimento reciproco non debbano entrare in contatto tra loro, ma solo attraverso la interposizione delle guarnizioni stesse e ciò essenzialmente per perfezionare la tenuta ermetica e ridurre l'abrasione.

Un corpo cilindrico 21 di notevole spessore, reca al suo interno una superficie cilindrica perfettamente levigata.

Una scanalatura 22 praticata nel suo interno lungo la generatrice, alloggia una guarnizione in elastomero 23 che si interpone costantemente tra il corpo 21 e il rotore 24 assicurando la tenuta lungo la linea di contatto.

Nel rotore 24 sono praticate sedi 25 in guisa di fessure a pareti parallele. All'interno di esse scorrono le palette 26.

Ogni paletta reca applicate su se stessa tre guarnizioni e due pattini.

Una guarnizione 30 è posta lungo la linea di contatto tra paletta e cilindro, detta guarnizione in elastomero realizza la tenuta di ogni paletta lungo la generatrice del cilindro.

Due pattini 32 sono alloggiati nelle sedi 31. Essi sono in contatto con la sede nel rotore 25.

Questi pattini sono fatti di materiale sintetico a basso coefficiente di attrito e assicurano il posizionamento della paletta all'interno della fessura.

Le altre due guarnizioni alloggiare sulle palette sono illustrate nella Fig. 6 che esamineremo in seguito.

Proseguiamo quindi momentaneamente con l'esame dei pattini 20 alloggiati nei canali 27 scavati dentro i tagli sul rotore.

Anche questi pattini, fatti in materiale a basso coefficiente di attrito, non hanno lo scopo di assicurare la tenuta tra palette e sede, scopo che è realizzato dalle guarnizioni 28, alloggiare nelle sedi 45 delle Fig. 8 e 9.

I pattini 20 servono unicamente a distanziare le palette dalle sedi rispettive, nella stessa misura stabilita dai pattini 32.

Pertanto la paletta scorre dentro la sua sede restando da ambo i lati distanziata per effetto dei pattini 32 e 20.

Terminiamo l'esame della Fig. 5 considerando ancora le guarnizioni 29 che sono sistemate in canali a settore di cerchio, scavati sulle basi del rotore.

Le guarnizioni 29 distanziano il rotore dalle basi di chiusura del cilindro e, insieme alle guarnizioni 28, danno, la tenuta tra palette contigue, impedendo che il gas possa passare da una paletta all'altra

tra la base del rotore e la chiusura di base stessa.

Sempre nella Fig. 5 osserviamo i condotti di ingresso 35 e 36 e di uscita 39, 38 e 37, costituiti da fori praticati nello spessore della parete del cilindro 21 lungo le generatrici del cilindro; tutti comunicano con una serie di fori 41 di piccolo diametro che comunicano, a loro volta, con l'interno del cilindro.

Il diametro dei fori 41 è minore della larghezza delle guarnizioni 30.

Il foro 36 comunica, attraverso tubazioni poste all'esterno con il foro 35, anche i fori 39, 38 e 37 comunicano tra loro esternamente a mezzo tubazioni.

Da questi due gruppi di canali il gas esce ed entra nel dispositivo.

Esaminiamo ora la Fig. 6 dove si illustra l'ultimo tipo di guarnizione applicata sulla paletta 26.

La figura 6 mostra una vista esplosa della paletta 26 con le sue guarnizioni e pattini, comprese le guarnizioni in elastomero 42, sagomate in modo da incastrarsi esattamente nelle due sedi 44 alle estremità laterali della paletta, per chiudere il passaggio tra paletta e piastra di chiusura sulle basi del cilindro.

Le misure vanno aggiustate in modo che la larghezza che ogni paletta acquista quando le due guarnizioni 42 sono montate, sia uguale all'altezza del cilindro 21 che le contiene.

Nella Fig. 6 si possono vedere con più dettaglio le sedi 31 che alloggiavano i pattini 32 e la guarnizione 30 con la sua sede.

Nella Fig. 8 si può vedere una proiezione parzialmente esplosa di una sezione della fessura 25 del rotore, che alloggia la paletta 26.

La guarnizione 28 è disegnata fuori della sua sede 45 per mettere in evidenza la guarnizione 29.

Le sedi 74 a settore di cerchio sulle basi del rotore, alloggiavano le guarnizioni 29 tra una paletta e l'altra mentre la sede 27 alloggiava i

pattini 20 descritti in precedenza.

Nella Fig. 9 è mostrato in dettaglio in pianta il sistema di paletta, guarnizioni e rotore montati.

I pattini 20 sono di altezza inferiore all'altezza della paletta, non toccano cioè le guarnizioni 42 e lasciano quindi libero passaggio al gas, anche i pattini 32 non toccano le guarnizioni 42 e non ostacolano il passaggio del gas.

Nella Fig. 7 si vede una sezione del corpo cilindrico 21 nelle vicinanze della guarnizione 23, raffigurata in assenza del rotore 24.

Come si può notare la sede 22 della guarnizione 23 ha un fondo concavo, resta così libero lo spazio 33.

Allorché il rotore 24 viene accostato alla guarnizione 23, essa si deforma e lo spazio 33 si riduce.

La serie di fori 43 mette in comunicazione lo spazio 33 con un volume più grande, anche, eventualmente a pressione diversa, per con sentire le variazioni di forma della guarnizione 23 stessa, sia allatto del montaggio che poi ogni volta che una paletta vi passa sopra.

La serie di guarnizioni teste descritta realizza la chiusura ermetica del gas che venga a trovarsi tra due palette e, attraverso la guarnizione 23, la chiusura ermetica lungo la linea di contatto tra rotore e cilindro.

I fori 36 e 35 posti da un lato della guarnizione 23 realizzano un accesso al volume variabile compreso tra due palette, per esempio possono costituire l'ingresso.

Con riferimento alla Fig. 5 se le palette girano in senso antiorario, lo spazio 40 compreso tra due palette si riempie di gas.

Poi quando la paletta oltrepassa la serie di fori 35, il volume 40 compreso tra le palette, termina il riempimento ed inizia una

espansione.

Nel corso della rotazione tale espansione procede fino a che il volume interno raggiunge un valore massimo e successivamente tenderebbe a trasformarsi in una ri-compressione.

Se però la serie di fori 39 di uscita è posta in modo da incontrare la paletta in corrispondenza del volume massimo, allora il gas verrà scaricato fuori dal dispositivo senza subire la ri-compressione, ma avendo subito solo una espansione.

Nel corso di tale trasformazione il gas potrà ricevere del calore attraverso la parete del cilindro 21, comunicante con una sorgente di calore.

Se la rotazione è abbastanza lenta e la temperatura della sorgente fissa, l'espansione sarà isoterma.

Un ragionamento analogo ma invertito vale nel caso di compressione.

Da quanto detto è ovvio che la posizione dell'ultima serie di fori di ingresso e della prima serie di fori di uscita che una paletta incontra nella sua rotazione, determina il rapporto di compressione o di espansione del dispositivo.

Dunque gli angoli relativi vanno esattamente calcolati in modo da realizzare quelle condizioni di eguaglianza della pressione tra ingresso di un dispositivo e uscita dell'altro, tali da permettere di chiudere i cicli della Fig.2.

Per determinare tali angoli basta osservare la Fig.2 ad esempio l'espansione BC richiede che il gas entri nel dispositivo con un volume specifico di $4,434 \text{ cm}^3/\text{g}$ ed esca con il volume specifico di $5,71 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Poiché la massa compresa tra due palette non cambia, il rapporto tra i suddetti volumi specifici darà anche il rapporto di espansione del

gas.

Per ottenere da questo rapporto i due angoli di ingresso e uscita, possiamo imporre ad esempio che lo scarico dal volume variabile debba avvenire in corrispondenza del volume massimo e quindi, data la geometria del sistema, in corrispondenza dell'area massima di base.

Poiché il volume tra due palette varia lasciando inalterata l'altezza, è ovvio che il rapporto di espansione cercato sarà anche uguale al rapporto delle aree utili comprese tra due palette al momento dell'uscita e dell'ingresso.

Stabilita quindi la geometria del sistema come il diametro del cilindro e quello del rotore e le dimensioni delle palette, si determina l'area utile massima tra due palette con considerazioni elementari di analisi matematica e geometria che qui non riportiamo, quindi, conoscendo il rapporto tra i volumi o rapporto di compressione, con una semplice proporzione si calcola quale area utile si dovrà avere nell'ultima posizione di ingresso del gas e successivamente si determinerà, sempre con metodi analitici, il valore dell'angolo della ultima serie di fori di ingresso che da luogo all'area calcolata.

Un ragionamento analogo va fatto per i compressori, in questo caso l'area di base massima corrisponde all'istante di chiusura del gas e inizio della compressione.

Riguardo alle altezze dei cilindri, esse si calcolano in base alla massa di gas che si vuole mettere in gioco tra due palette.

Detta massa, per ogni ciclo chiuso primario e secondario dovrà essere la stessa per entrambi i dispositivi rotanti, se questi hanno lo stesso numero di palette e sono accoppiati direttamente.

Se invece cambia il numero di palette, oppure il rapporto di trasmissione, allora vale il principio generale di continuità delle masse nel senso che il rateo di massa entrante o uscente nell'unità di

tempo dai dispositivi, dovrà essere uguale per entrambi.

Supponendo quindi ad esempio un ugual numero di palette e rapporto di trasmissione unitario, nonché stessa struttura e dimensioni geometriche in sezione di ogni dispositivo a volume variabile, le altezze dei vari cilindri rimangono l'unica variabile da calcolare, questo calcolo si ottiene semplicemente con la formula:

$$h = v \text{ m/s} \quad (15)$$

dove "v" è il valore del volume specifico relativo all'area di base utile generica "s" relativa allo spazio 40 ed "m" è la massa di gas compresa tra due palette.

In particolare nella posizione di massima area "S" abbiamo:

$$h = V \text{ m/S} \quad (16)$$

dove, nelle condizioni suddette "S" è uguale per tutti i dispositivi e "V" si ricava dalle caratteristiche (P,v) del gas di Fig. 2, in corrispondenza di ogni segmento di isoterma nel punto di massimo volume specifico.

Da quanto detto è implicito che nel sistema così dimensionato, il principio di continuità delle masse sarà verificato allora e solo allora che il sistema stesso si troverà nelle condizioni di temperatura, pressione e salti di pressione illustrati in Fig.2.

Resta così stabilito che uno dei modi per realizzare il sistema complesso in oggetto è quello di utilizzare come dispositivi a volume variabile i dispositivi a palette rotanti descritti che potranno anche avere stessi diametri per i cilindri e stessi diametri dei rotori, stesso numero di palette e accoppiamento diretto.

Le differenze consisteranno negli angoli di entrata e uscita e nelle altezze dei cilindri.

Tutte le superfici dove c'è scorrimento saranno debitamente lucidate per ridurre l'attrito e una parte dell'energia meccanica sviluppata sarà

utilizzata per muovere mezzi di lubrificazione a circolazione d'olio.

Avendo descritto in dettaglio il ciclo teorico, il ciclo tecnico e i particolari dei singoli componenti, resta da descrivere la struttura del sistema nel suo insieme.

Nella Fig. 10 è illustrato uno schema della struttura generale.

I dispositivi rotanti a palette 53, 52, 61 e 62 che eseguono rispettivamente i cicli BC, JC e DF, DA della Fig. 2, sono racchiusi all'interno di due campane 48 e 49.

Il dispositivo 53 esegue l'espansione BC e il 52 la compressione JC della Fig. 2.

Essi sono in contatto termico tra loro.

La campana 48 è chiusa per mezzo della flangia 50 ad essa connessa e dal tappo 46.

Mezzi di serraggio come bulloni e guarnizioni completano la chiusura.

L'involucro costituito dalla campana 48 e dalla flangia 50 e dal tappo 46 costituisce un corpo resistente alla pressione interna del sistema.

Il dispositivo 61 esegue l'espansione DP mentre il 62 esegue la compressione DA, entrambi sono racchiusi nell'involucro formato dalla campana 49, la flangia 51, il tappo di chiusura 47.

Il tutto analogamente a prima.

Gli assi dei rotori 52 e 53 sono accoppiati direttamente e coassialmente dentro la campana e, attraverso l'elemento di tenuta 54, il movimento viene trasmesso fuori, sull'asse 56.

Analogamente per il gruppo 61, 62, l'elemento di tenuta 55 consente di far fuoriuscire un asse di rotazione 70 con la tenuta di pressione interna.

Anche i gruppi 61 e 62 hanno gli assi di rotazione accoppiati direttamente tra loro.

Sono previsti mezzi per distanziare tra loro le due campane descritte. Gli assi 56 e 70 si uniscono tramite mezzi convenzionali compensativi di disallineamento e lunghezza, non illustrati, per formare un unico asse su cui è fissato il pignone 57 ad alto numero di denti.

Una catena 71 trasmette la rotazione ad un pignone a basso numero di denti 58, il quale a sua volta è solidale all'asse 72 rotante su convenzionali cuscinetti e recante il volano 59. Detto volano gira molto più velocemente dell'asse motore 70 e serve a compensare eventuali differenze di coppia tra i dispositivi.

L'impiego delle campane 48 e 49 resistenti alla pressione non sarebbe strettamente necessario se i gruppi rotanti fossero sufficientemente resistenti alla pressione interna.

La campana 49 è coibentata in modo variabile dagli strati isolanti 73 amovibili per un contatto termico più o meno stretto con l'ambiente.

Un gruppo S1, S2, S3, S4 di scambiatori di calore, come anche descritto in Fig. 3, è contenuto in un involucro 63 fatto di materiale coibentante e collega la piastra di chiusura 46 con l'altra 47.

Attraverso dei fori in detta piastra il gas entra ed esce dai gruppi rotanti.

Le tubazioni di collegamento interne ad ogni campana potranno essere ricavate per foratura, nello spessore delle pareti dei cilindri e relativi tappi di chiusura dei gruppi rotanti.

La pressione interna e il volume specifico del gas contenuto nella campana 48, durante il funzionamento, corrisponde a quella del punto C della Fig. 2, invece il punto D della stessa Fig. 2 dà le condizioni interne alla campana 49.

Dentro la campana 48 si mescolano e si termalizzano tra loro, prima di immettersi nello scambiatore di calore, i due flussi di gas delle trasformazioni BC e JC della Fig. 2.

Essi si termalizzano anche nell'attraversamento del tappo 46, fatto di materiale buon conduttore di calore.

Nella campana 49 i gas, fuoriuscenti dai dispositivi rotanti si termalizzano tra loro e con il resto di quel sistema, soltanto attraversando le canalizzazioni e il tappo 47 fatto di materiale buon conduttore di calore.

Il gruppo di scambiatori di calore S1, 32, S3, S4 realizza le isobare AB e CD della Fig. 2 e collega, attraverso i condotti 65 e 66 le due campane 48 e 49.

Un altro gruppo di scambiatori di calore 35, 36, 37, 38 contenuto nell'altro involucro coibentante 64, è collegato in modo analogo e realizza le isobare FJ e CD della Fig. 2.

Un motore elettrico 60 del tipo a spazzole, reversibile, è collegato all'asse 72.

Esso può servire all'atto dell'avviamento del sistema, come si vedrà in seguito, per portare il sistema stesso nelle condizioni di funzionamento e successivamente potrà anche funzionare come dinamo per la produzione di energia elettrica.

Passiamo ora a descrivere il funzionamento.

Inizialmente tutto il sistema sia a temperatura ambiente e sia stato caricato all'interno di esso un gas con temperatura critica minore di quella ambiente, come ad esempio il gas di Tetrafluorometano, avente formula chimica CF_4 , noto con il nome di FREON 14 o altri nomi commerciali, avente temperatura critica di $-45,5^{\circ}C$.

Detto gas sia caricato in condizioni di concentrazione vicine a quella critica.

Alimentando poi il motore elettrico 60, si inizierà a far girare molto lentamente il sistema.

Contemporaneamente si applichi alla campana 49 il massimo di coibentazione e con mezzi esterni si porti il suo interno a una temperatura vicina a quella critica.

Continuando la rotazione, il raffreddamento verrà comunicato, attraverso il movimento del gas, via via a tutti gli stadi degli scambiatori di calore.

Nello stesso tempo, poiché l'espansione DF provvederà a sottrarre calore dentro la campana 49, si dovrà, nella stessa misura, diminuire il raffreddamento esterno, per mantenere la temperatura della campana 49 vicina a quella critica del gas.

Detta situazione deve protrarsi finché tutte le parti del sistema hanno raggiunto la temperatura stazionaria di esercizio, nonché la distribuzione delle pressioni illustrata in Fig. 2.

+3

Allora l'energia prodotta dal sistema sarà superiore a quella richiesta per l'avviamento, e il motore elettrico a spazzole verrà posto in rotazione ad una velocità di rotazione maggiore di quella spettantegli in base alla sua alimentazione elettrica, divenendo quindi un generatore di elettricità.

Il raffreddamento esterno dovrà essere sospeso e la coibentazione della campana 49 dovrà costantemente essere controllata ed eventualmente variata in modo che il calore che giunge dall'ambiente compensi quello sottratto internamente, stabilizzando perciò la sua temperatura nei pressi di quella critica del gas.

E' perfettamente chiaro che il sistema descritto può essere anche usato per la generazione del freddo.

Infatti il gruppo che esegue l'espansione DF, responsabile della

sottrazione di calore, può essere messo in contatto termico con un ambiente da raffreddare da cui estrarrà il calore.

Nello stesso tempo è necessario allontanare il lavoro ad esempio generando l'energia elettrica da utilizzare al di fuori dell'ambiente da raffreddare.

E' anche chiaro che il sistema descritto può essere utilizzato per riscaldare un ambiente, a tale scopo bastando dissipare tutto il lavoro prodotto in esso, facendo contemporaneamente pervenire il calore al gruppo dei dispositivi freddi, da un ambiente esterno a quello da riscaldare.

Concludiamo osservando che, essendo il trovato basato su dati bibliografici, si limita a rendere possibile ciò che prima era noto, ma ritenuto impossibile e quindi non riveste carattere di scoperta ma di semplice invenzione.

Da quanto detto risulta chiaro come detto metodo sia di validità generale, non limitata alla trasformazione di energia termica in meccanica, ma potrà eventualmente essere esteso anche alla conversione diretta del calore in altre forme di energia.

Ad esempio se esiste un fenomeno fisico di trasformazione del calore direttamente in un'altra forma di energia, se poi esiste anche il fenomeno inverso, allora, nel momento in cui siano disponibili due dispositivi di tal tipo, aventi diverso rendimento, si potranno accoppiare tra loro, sia termicamente che attraverso la forma di energia di trasformazione per dar luogo ad un eccesso utile di tale energia, con conseguente sottrazione di calore dalla sorgente fredda.

RIVENDICAZIONI

1) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta, caratterizzato dal fatto di essere composto da due sottosistemi accoppiati, il primo essendo una macchina termica che assorbe calore da una sorgente calda, cede

calore ad una sorgente fredda e genera lavoro, il secondo essendo una macchina termica invertita che assorbe solo una parte del lavoro prodotta dalla prima, cede calore alla sorgente calda di cui sopra e sottrae calore a quella fredda di cui sopra. La quantità di calore che la macchina termica invertita assorbe dalla sorgente fredda è maggiore della quantità di calore che ad essa cede l'altra macchina, mentre la quantità di calore che le due macchine complessivamente scambiano con la sorgente calda è nulla.

2) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta, secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la sorgente calda può essere costituita dall'ambiente nelle sue forme più varie, come l'acqua, l'aria, la terra o lo spazio.

3) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta secondo le rivendicazioni 1 e 2 caratterizzato dal fatto che la quantità di calore che le due macchine termiche scambiano complessivamente con la sorgente calda, può essere diversa da zero, potendo la differenza essere fornita o dissipata nell'ambiente.

4) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro secondo le rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che il calore sottratto alla sorgente fredda può essere compensato da una equivalente quantità di calore proveniente dalla sorgente calda che resta in tal modo l'unica sorgente.

5) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta secondo le rivendicazioni 1, 2, 3 e 4 caratterizzato dal fatto che una o entrambe le macchine termiche possono impiegare circuiti chiusi contenenti gas in condizioni vicine al punto critico.

6) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e

convertitore che ne risulta, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che la sua utilizzazione può essere finalizzata alla generazione del freddo in un ambiente. In questo caso detto ambiente è posto in contatto termico con le pareti o sezioni dei meccanismi la cui temperatura scende al di sotto di quella ambientale, mentre il lavoro prodotto viene utilizzato fuori dell'ambiente da raffreddare.

7) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta, secondo le rivendicazioni 1, 2, 3, 4, 5, caratterizzato dal fatto che la sua utilizzazione può essere finalizzata alla generazione di calore all'interno di un ambiente, in questo caso si dissipa in detto ambiente il lavoro prodotto. Il calore necessario alle sezioni che si raffreddano viene prelevato al di fuori dell'ambiente da riscaldare.

8) Metodo di conversione dell'energia termica in lavoro e convertitore che ne risulta, secondo una o più delle precedenti rivendicazioni e sostanzialmente come illustrato e descritto in riferimento alle figure dei disegni allegati.

Roma 26 Giugno 1987

Maurizio Vignati

87

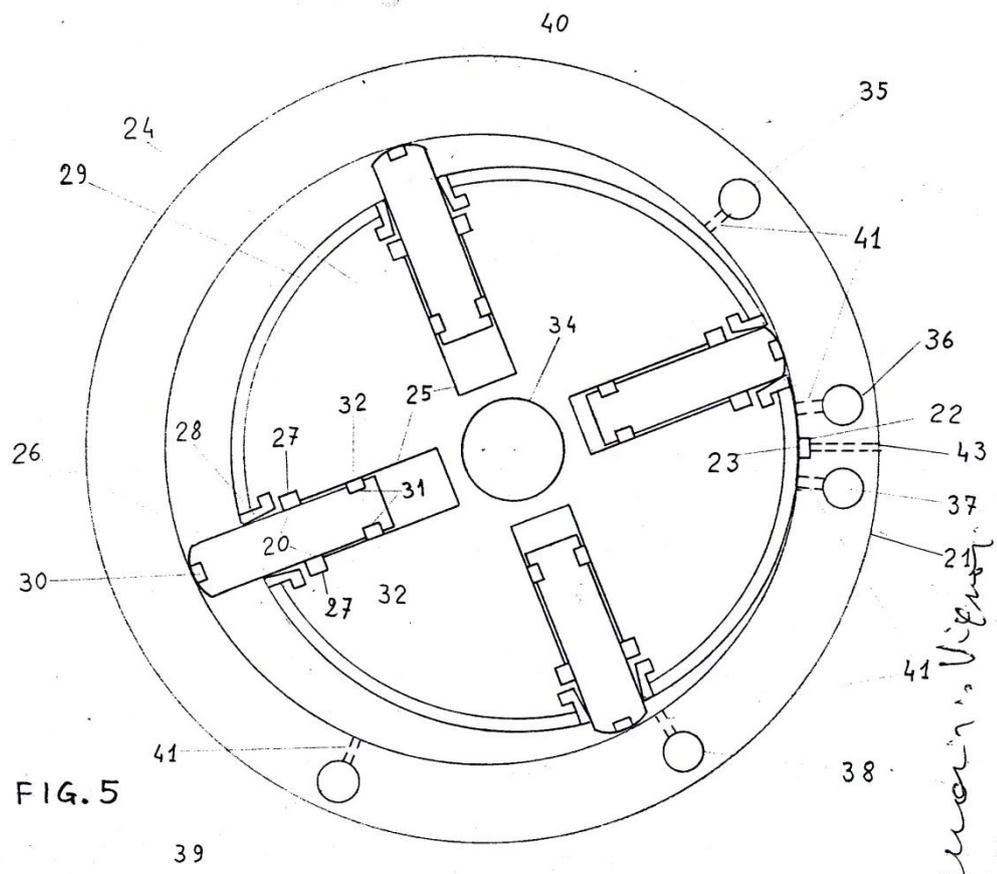


FIG. 5

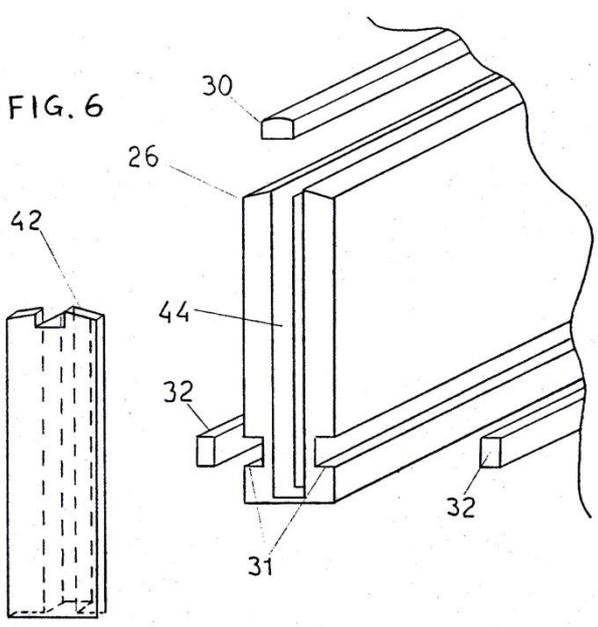


FIG. 6

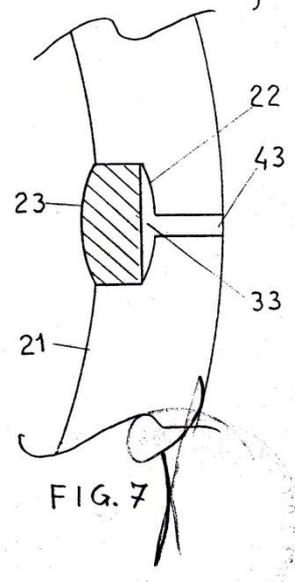


FIG. 7

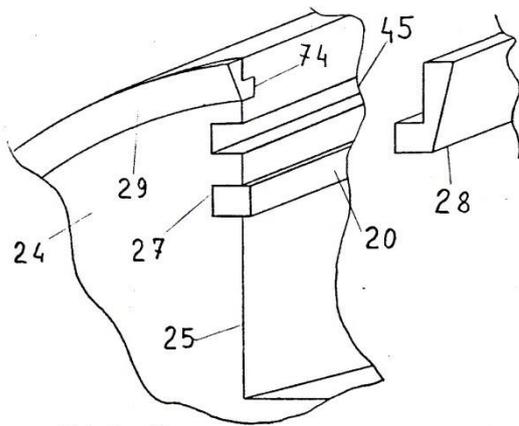


FIG. 8

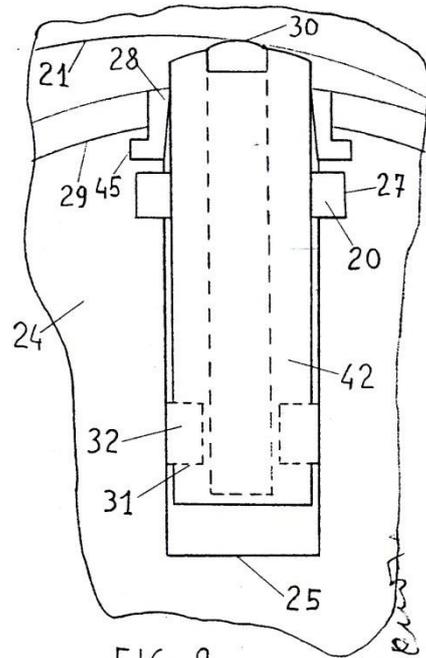


FIG. 9

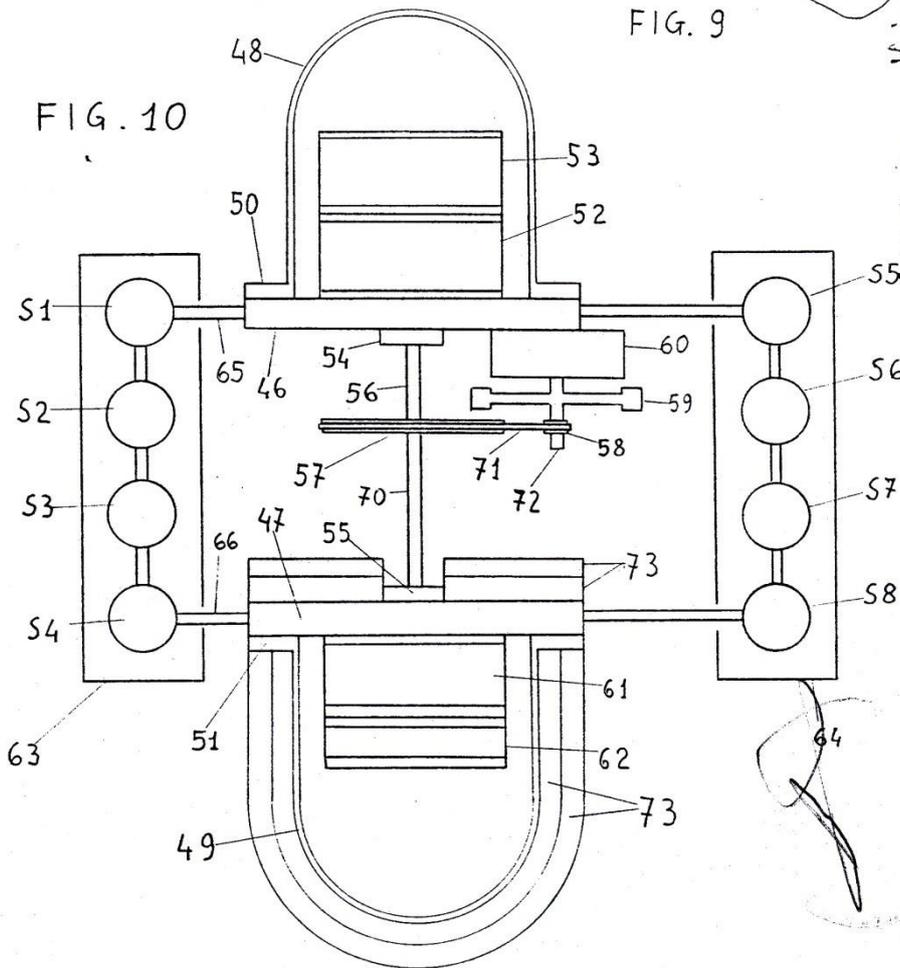


FIG. 10