

Il legame tra i due Carnot nella nascita della Termodinamica

A.Drago e P.Iacono¹

1 - Il legame teorico tra i due Carnot: decisivo per la nascita della termodinamica

Tra le teorie fisiche, la Termodinamica è una teoria che ha superato senza mutamenti la crisi de XX secolo. Il merito incontestabile di aver prodotto quasi tutta la nuova teoria appartiene a S. Carnot.

Gli storici hanno suggerito varie interpretazioni sulla nascita delle idee di Carnot. Tra di esse, quelle di Koenig (1961), Mendoza (1961), Scott (1971) e Gillispie (1971) hanno sottolineato il rapporto che la teoria di S. Carnot ha con la meccanica del padre Lazare (1752-1822). (Si noti che di Lazare si è persa la "Lettera sugli areostati" del 1792, che avrebbe potuto indicare le sue idee teoriche sui fenomeni termici). Sarà questo tipo di interpretazione che qui verrà seguito.

Il primo a suggerire questo legame e a fornire la sua personale interpretazione è stato nel 1961 Koenig (Koenig), facendo notare che S. Carnot e il padre hanno fondato le loro teorie sui medesimi concetti: l'impossibilità del moto perpetuo, il lavoro e il rendimento delle macchine.

Mendoza (Mendoza) ha attribuito al padre l'atteggiamento di Sadi nel generalizzare dai fenomeni e dalla tecnologia. Delle *Reflèxions* di S. Carnot egli ha scritto che:

"Il Saggio trascese i dettagli tecnici, perché Sadi ha ereditato dal padre la capacità di generalizzare, fino a vedere i processi che sono fondamentali e che animano i meccanismi complicati. In questo modo vide in una macchina una quantità di calore che cadeva da una temperatura superiore ad una inferiore; egli estese ai processi termici alcune idee di suo padre sulla meccanica – l'impossibilità del moto perpetuo - e la necessità di evitare le trasformazioni irreversibili".

In seguito, nel 1971 Scott (Scott) ha fatto notare che S. Carnot ha ripreso il concetto di ciclo che il padre aveva sostanzialmente usato per le macchine meccaniche.

Nello stesso anno Gillispie (Gillispie p. 91-99) ha parafrasato sinteticamente tutto il discorso delle *Reflèxions* per rafforzare e articolare questa stessa tesi: c'è un collegamento diretto tra le teorie scientifiche di S. e L. Carnot, e questo collegamento è quello di una "filiazione scientifica". Questo concetto è stato ribadito da Gillispie qualche anno dopo, in un convegno su Sadi Carnot, dove ha dichiarato che questa linea di ricerca storica presenta molti problemi aperti (in Taton p. 31).

2 - Precisazione e ampliamento delle idee di Gillispie

Qui preciseremo quanto Gillispie ha suggerito. Dalla sua parafrasi sul collegamento tra le teorie scientifiche di Sadi e Lazare Carnot noi estrarremo gli elementi costitutivi; che esporremo secondo una sequenza logica ordinata (per uniformità con le citazioni di Gillispie, porremo al presente storico tutte le frasi riferite a Sadi; il numero tra parentesi indica la pag. di Gillispie 1971).

1. "La stessa parola *Reflèxions*, nel titolo del lavoro di Sadi, richiama la natura meditativa del libro del padre sull'analisi infinitesimale; mentre il suo tipo di studio, per quanto riguarda l'argomento di studio e il metodo di indagine, era quello della scienza del padre. Come l'*Essai sur les machines en général*, anche la *Puissance motrice du feu* è un trattato rigoroso, nonostante il suo esprimersi in maniera discorsiva e generale; e, nonostante non sia formalizzato, è sufficientemente generale, tanto da essere un adattamento della scienza ai principi dell'utilizzazione delle macchine".(p. 92)

2. "In S. Carnot come in L. Carnot c'è la curiosa combinazione di metodo quantitativo ed espressione discorsiva, in modo che il ragionamento passa, dal caso ideale di cambiamenti continui anche in modo infinitesimale, alla realtà fisica di cambiamenti di stato discontinui e irreversibili di un sistema." (p. 99)

¹ Gruppo di Storia della Fisica, Università Federico II, Napoli

3. Sadi sostiene che la sua teoria deve comprendere qualsiasi tipo di macchina termica e deve modellarsi sulla teoria delle macchine classiche. Perché, in effetti, già esisteva una scienza avente il carattere di una teoria completa (così riteneva Sadi da buon figlio di suo padre); e questa era basata, come anche lui sta facendo nella sua teoria, sui ben noti principi della meccanica. E solo quando queste leggi fossero state estese tanto da considerare tutti gli effetti meccanici prodotti dal calore sui corpi di ogni tipo, la teoria delle macchine termiche sarebbe arrivata ad uno stato parimenti soddisfacente”.(p. 94)

4. Nell’analogia di Sadi tra flusso di calore e flusso d’acqua in una ruota idraulica è evidente la sua relazione con la meccanica di Lazare (e non quella di Newton o di Laplace).

5. “E’ stata spesso sottolineata la somiglianza tra le osservazioni di Lazare Carnot sulle macchine idrauliche in quest’ultimo trattato [Principes] e il modello [teorico di macchina idraulica] del figlio: questi attribuisce forza e potenza motrice al passaggio di calore, il quale è considerato come un fluido reale che passa da una temperatura maggiore ad una minore”. (p. 91).

6. Sadi nelle *Réflexions* eredita dal padre non solo il modello idraulico per il flusso di calore, ma proprio quel concetto di potenza motrice [lavoro] che per Lazare costituiva il punto d’arrivo della serie dei suoi scritti sulla scienza delle macchine (a partire dal Saggio del 1788) e che Sadi considerò come suo punto di partenza, dopo aver parlato (1823) con suo fratello Hippolyte sulle teorie scientifiche del padre.(p. 91)

7. Sadi, come il padre, appartiene alla tradizione teorica che concentra l’attenzione sulla condizione di equilibrio. Infatti, anche Sadi, nelle *Réflexions* pone al centro il concetto di equilibrio: “Dal momento che ogni ristabilimento di equilibrio del calorico può causare una produzione di potenza motrice, ogni ristabilimento di equilibrio che sarà effettuato senza produzione di potenza motrice dovrà essere considerato come una effettiva perdita [...]”. “L’analisi di Sadi si basa sul principio che la produzione di potenza motrice presuppone una qualche precedente rottura dell’equilibrio nella distribuzione di calorico; reciprocamente, laddove si trova una differenza di temperatura, esiste la possibilità di trarre potenza motrice dal passaggio del calorico, il quale così ripristina lo stato di equilibrio”.(p. 94)

8. La parola in “generale” del titolo della prima opera di Lazare ha lo stesso senso del teorema generale, che Sadi dimostra rispetto all’agente da usare per produrre potenza motrice. Infatti per Sadi, che questo agente sia vapore acqueo, aria, barre metalliche o qualsiasi altro oggetto, tutto è deciso solo da una data quantità di calore e per una data differenza di temperatura”.(p. 94)

9. Inizialmente, nel manoscritto inedito, Sadi aveva presentato un ciclo di tre fasi. Egli ha “dunque, schematizzato e idealizzato in una certa misura, il funzionamento della macchina a vapore, così come Lazare ha fatto per le macchine meccaniche [...]”. (p. 95).

10. Sadi descrive il modello delle macchine ad aria di Niepce e Cagniard che avevano tanto entusiasmato il padre Lazare.(p. 92)

11. Così come Lazare, anche “Sadi all’inizio della sua teoria, introduce l’idea di processo reversibile: sente la necessità di poter confrontare gli stati iniziali e gli stati finali del sistema meccanico senza dover considerare i cambiamenti interni del lavoro o dell’energia.” “E’ molto significativo che egli abbia incluso l’idea di processo reversibile solo nel testo della *Puissance motrice du feu*, solo dopo aver discusso [sul tema] con [il fratello] Hippolyte al suo ritorno da Magdeburgo,” dove aveva visitato il padre in esilio (p. 94-95)

12. Lazare Carnot (1803, p. 248) aveva scoperto che “la condizione di massima efficienza di una ruota idraulica era che non ci doveva essere moto d’acqua che non fosse trasmesso alla ruota, dal momento che una qualsiasi velocità residua dell’acqua avrebbe potuto produrre un effetto addizionale”; ugualmente “Sadi, da parte sua, va a formulare [il concetto analogo del]la reversibilità nelle macchine termiche ideali

(forse la dizione *macchina a vapore* [analoga a quella “di macchina ad acqua”] aiuta a rivelare come queste idee passarono dall’uno all’altro”. (p. 95)

13. “E’ permesso pensare che le conclusioni alle quali Sadi è giunto nella teoria del calore, riflettono l’influenza diretta della scienza delle macchine di Lazare. Ce ne convince il fatto che Sadi abbia ricorso a un ragionamento infinitesimale, poiché [nella teoria di Sadi] la reversibilità ha lo stesso ruolo teorico dei moti geometrici” nella teoria del padre (p. 97)

14. Nella meccanica del padre il principio dell’impossibilità del moto perpetuo aveva le funzioni di “principio di controllo e di guida”(p. 90). Sadi riconosce piena validità a questo principio. Con esso Sadi ragionò così: “che se esistesse, per sfruttare il calore, un qualsiasi metodo migliore dei due [delle trasformazioni] processi appena descritti, ne seguirebbe che si potrebbe trarre una quantità maggiore di potenza motrice dal flusso di calorico nel primo processo o in quello successivo. Allora sarebbe possibile deviare l’eccesso, o una parte di esso, verso l’azione che avrebbe guidato il processo inverso, vale a dire riportare il calorico dal corpo *B* fino al grado di temperatura del corpo *A*. Se si realizzasse ciò, si giungerebbe ad una illimitata produzione di forza motrice, senza alcun dispendio di calorico o altro agente. Ciò significherebbe, in breve, un moto perpetuo. Essendo una tale conclusione contraria alle leggi della meccanica e della sana fisica, essa risulta inammissibile”.(p. 95-96)

15. “Niente di ciò che è stato detto qui [sul fatto che l’analogia con la ruota idraulica ha dei difetti] vuole negare questo collegamento; si vuole invece dimostrare che esso aveva una portata più ampia che solo questo modello, tanto da comprendere addirittura le modalità e i termini dello studio di Sadi. Se questo è vero, fu probabilmente a questo punto [...] che Sadi iniziò a superare il padre”. (p. 97)

16. Nelle teorie di entrambi i Carnot c’era la conservazione di quella quantità che è misurata dimensionalmente come il lavoro e l’energia: “Lazare, facendo il bilancio del *momento-di-attività prodotta* col *momento-di-attività spesa* (o *forza attiva impiegata*); Sadi, [facendo il bilancio] della “*forza prodotta e del calorico trasportato*”.(p. 99)

A questi legami nella costruzione delle due teorie, Gillispie aggiunge dei loro problemi comuni (le indicazioni seguenti delle pagine si riferiscono a Taton)

- “Com’è stato possibile che delle proposizioni enunciate da Lazare e Sadi hanno che non interessarono i loro contemporanei, ma dopo una generazione queste stesse furono considerate fondamentali?” (p. 24)

- “E’ pensabile che l’idea di processo reversibile di Sadi possa rappresentare una applicazione alle macchine a *fuoco* della teoria del moto geometrico, sviluppata dal padre?” (p. 26)

- “E’ ipotizzabile che i lavori di Lazare e Sadi non siano stati apprezzati dai fisici e matematici delle loro generazioni a causa della particolare formazione dei loro autori, che era di tipo ingegneristico, [e quindi] non fondata sulla tradizionale meccanica razionale?” (p. 31)

3 - Il retrocervello di Sadi Carnot

Al seguito degli storici precedenti, recentemente un successivo lavoro (A. Drago e Pisano) ha allargato la interpretazione basata sul legame tra i due Carnot. Esso ha sottolineato una medesima scelta sull’organizzazione delle loro teorie: quella basata sulla ricerca di un metodo per risolvere un problema universale (invece di quella interamente deduttiva). Studi precedenti di Drago (1991), hanno fatto notare che la prima organizzazione, quella problematica, comporta, in particolare, due caratteristiche utili per un’interpretazione del testo originale: la logica non classica, usata da ambedue le teorie attraverso l’uso di frasi doppiamente negate e il metodo sintetico, così come fu potenziato dal padre.

Infatti una prima indagine sul testo di Sadi Carnot ha trovato ben 65 frasi di logica non classica (Drago e Pisano) che, da sole, permettono di seguire tutta l’argomentazione della prima parte (quella importante per la teoria) del libro. Un

lavoro successivo (Iacono, pp. 38-44) ha proseguito la ricerca di frasi di questo tipo; il risultato è un ampliamento del numero delle frasi doppiamente negate a 129, le quali permettono così di ricostruire tutta la esposizione di S. Carnot in forma sintetica. E anche il metodo sintetico del padre si è rivelato molto utile per dare finalmente una dettagliata interpretazione della nota matematica, là dove Sadi fa avanzare la sua teoria, espressa precedentemente a parole, e giunge ad un passo dalla formula matematica moderna del rendimento (Iacono pp. 73-76).

Con tante evidenze per un quadro di riferimento comune, appare molto promettente ricercare maggiori dettagli che sostengono la tesi interpretativa della filiazione scientifica tra i due Carnot. E' quanto inizieremo a fare nel seguito. Cominceremo col ricostruire l'atteggiamento teorico di S. Carnot. Tutto quanto è stato suggerito dagli storici precedenti permette di formulare uno schema, che elenca gli elementi principali che S. Carnot ha preso dal padre Lazare: e che, per così dire, formavano il suo retrocervello. Elencheremo separatamente gli elementi che i due rifiutavano categoricamente, quelli che invece avevano acquisito senza nessuna riserva, e infine quelli che Sadi (e forse anche Lazare) accettava con riserva (elementi di dubbio), benché Sadi li abbia utilizzati come fondamento per la sua teoria. (Tra parentesi il nome dello storico che ha indicato quell'elemento). Cioè, cercheremo di immedesimarci nella soggettività teorica di S. Carnot.

TAB. 1 - II "RETROCERVELLO" teorico di S. Carnot
<p style="text-align: center;">Elementi rifiutati da ambedue i Carnot</p> <ul style="list-style-type: none">* <i>Analisi infinitesimale di Newton e Lagrange (Gillispie, Drago)</i>* <i>Spazio – tempo assoluti di Newton (Drago)</i>* <i>Forza – causa di Newton (Drago)</i>* <i>Forze intermolecolari di Laplace (Gillispie)</i>
<p style="text-align: center;">Elementi acquisiti da ambedue i Carnot senza riserve</p> <ul style="list-style-type: none">* <i>Matematica operativa (Gillispie)</i>* <i>Analisi infinitesimale alla L. Carnot (Drago)</i>* <i>La teoria delle macchine meccaniche di L. Carnot come basilare (Gillispie)</i>* <i>Impossibilità del moto perpetuo (Koenig Gillispie,)</i>* <i>Lavoro come grandezza fisica basilare = $P\Delta V$ (Koenig, Gillispie)</i>* <i>Rendimento di una macchina (Koenig)</i>* <i>Equilibrio (Gillispie)</i>* <i>Concetto di stato (Gillispie, Scott)</i>* <i>Reversibilità (Gillispie)</i>* <i>Analogia con la ruota ad acqua (Gillispie)Ciclo (Scott)</i>* <i>Organizzazione problematica (Drago e Pisano)</i>* <i>Metodo sintetico (Drago e Pisano)</i>* <i>Doppie negazioni di logica non classica (Drago e Pisano)</i>
<p style="text-align: center;">Elementi di dubbio di S.Carnot</p> <ul style="list-style-type: none">* <i>Teoria del calorico (o teoria dell'equivalenza del lavoro e del calore)</i>

Un ulteriore elemento, da aggiungere a quelli della tabella precedente, che accomuna i due Carnot è la teorizzazione basata su concetti dualistici, un tipo di

concetti fino allora sconosciuti nella meccanica newtoniana (che allora non aveva la conservazione dell'energia):

- Sistema in studio visto come ingresso ed uscita.
- Sistema visto come reversibile o irreversibile.
- Concetto di energia perduta o posseduta.
- Concetto di energia come potenziale o cinetica.
- Matematica come (trigonometria o in generale) operativa o Analisi
- Matematica con oggetti scalari o vettoriali.
- Principi fisici come principi metodologici o assiomi.
- Principio della teoria dei lavori virtuali o come $f=ma$.

Questo quadro esprime in modo molto chiaro che l'atteggiamento teorico di Sadi Carnot era consonante con quello di Lazare Carnot, ed era così ampio da poter basare e articolare completamente la sua teoria.

Ha il solo e grande difetto di non trovare appoggio in una comune articolazione dei concetti delle due teorie o IN un comune formalismo. Occorrerebbe allora portare a fondo l'analogia, vedendola alla luce del principio teorico che, a detta del padre, è alla base della sua teoria meccanica, il principio dei lavori virtuali (L. Carnot 1803) e che è all'origine di una tradizione meccanica differente da quella newtoniana (Drago 1993); verificare cioè se esso è capace di riordinare una organizzazione coerente della teoria termodinamica di S. Carnot e aiutarsi con quanto il metodo sintetico e la serie di doppie negazioni (Drago e Pisano) dicono dell'opera di Sadi Carnot. Ma ciò richiede un lavoro apposito che presenteremo in futuro. Invece nel seguito studieremo quali ipotesi storiche possono essere avanzate sulla nascita del libro di S. Carnot, la sua presentazione pubblica e il suo abbandono quasi immediato da parte dell'autore.

4 - Ipotesi storiche sulla nascita del libro

Considerando i due fatti ben noti (fino al 1822 Carnot era estraneo allo studio delle macchine termiche e poi se ne occupò per non più di tre anni, mentre invece L. Carnot era stato entusiasta di queste macchine e ci aveva scritto recensioni varie, più una lettera sugli areostati), si è indotti a supporre che piuttosto suo padre abbia formulato un così ambizioso progetto di teoria universale sulle macchine termiche quale è risultata poi la termodinamica. Questo punto è stato indicato anche da Gillispie (p. 92).

Noi allora vogliamo precisare questa ipotesi.

La prima parte delle *Réflexions* appare troppo come brogliaccio di ricerca. Lo scritto è poco chiaro nei concetti proposti (rottura dell'equilibrio?) nelle parole (che sono state cancellate e sostituite all'ultimo momento), nelle sequenze logiche (che accumulano più cicli differenti, quando ne basterebbe uno solo; al più gli altri potevano essere messi in una nota). È molto più probabile che il brogliaccio fosse uno scritto del padre che lo passò al figlio Sadi come lascito di uno scienziato carico di anni e in esilio forzato. Anche perché sembra strano che Girard, che presentò lo scritto all'Accademia, non abbia chiesto a Sadi delle modifiche migliorative; se S. Carnot non glielo ha fatto vedere prima di stampare il libro, è probabile che esso rappresentasse appunto un'esposizione quanto più era possibile legata ad un testo originale di L. Carnot. Gillispie, che ha presentato un'ipotesi simile, indica nella teoria dei gas l'inizio della novità aggiunta da Sadi. A noi sembra che nella sequenza dei cicli, lo

stacco che porta il ciclo ad aria rappresenti una novità storica nella storia delle riflessioni sulle macchine termiche e nello stesso tempo un salto culturale nel libro; per cui propendiamo per vedere qui l'inizio dello sviluppo da attribuire a Sadi.

Inoltre la nota in cui si esprimono dubbi sul calorico potrebbe essere una correzione di Sadi al margine di un testo che, secondo la volontà del padre, è basato sul calorico e che pertanto non poteva essere modificato senza perderne la gran parte. D'altronde per ambedue il calorico aveva un grande merito, quello di essere una funzione di stato, secondo quel concetto non newtoniano di stato che era alla base delle teorie di ambedue i Carnot.

Infine l'errore di Sadi a proposito dell'estensione del ciclo infinitesimo con le isocore a quello finito (S. Carnot, p. 32) ha una possibile origine nel fatto che egli, come dice nella nota sulla analogia con l'analisi, concepisce la isocora come una aggiunta del metodo sintetico di argomentare; la quale in meccanica è un moto geometrico; e Lazare in meccanica è ambiguo, se i moti geometrici siano finiti o infinitesimi; nel senso che il suo testo ammette ambedue i casi.

5 - Ipotesi storiche sulla presentazione

Ma perché Sadi non avrebbe mai dichiarato la sua filiazione scientifica dal padre? E' da notare che Sadi era uno spirito molto indipendente (A. Birembaut in Taton). Quando nel '30 gli proposero di presentarsi come candidato alle elezioni, rifiutò perché si accorse che lo facevano in nome di suo padre. Il quale per di più aveva come principio cruciale di non volere eredità di nessun tipo, né nobiliare né di denaro; in modo che tutti avessero pari opportunità per nascita (è su questo principio che nel 1830 iniziò il socialismo in Francia, grazie anche a suo fratello Hippolyte).

Ma consideriamo un fatto contingente, forse ancora più decisivo.

E' da notare che Lazare era stato un uomo molto importante per la storia della Francia; ma durante la restaurazione dei Borboni fu espulso dalla Francia con l'accusa di essere il "regicida" di Luigi XVI. Alla morte di Lazare, nel 1822, a Parigi non ci fu nessuna celebrazione. Questo silenzio forse spinse il suo primogenito Sadi – una persona qualificata in materia scientifica – ad onorare la memoria di L. Carnot col migliore omaggio che un figlio potesse offrire; cioè allargare, fino a formulare una vera e propria teoria, quella che era stata scritta dal padre solo come bozza, forse 10 o 15 anni prima, quando, come accademico dell'Istituto di Francia, dava giudizi sui progetti di nuove macchine termiche.

Quest'ipotesi spiega perché la prima parte delle *Réflexions*: 1) è lunga e prolissa, passando per la descrizione di un ciclo incompleto e funzionante con il vapore d'acqua, quando invece alla fine si dà il ciclo completo funzionante con l'aria; 2) questa parte non viene mai ripresa dai pensieri di Sadi Carnot riportati nei suoi manoscritti inediti, rivelati molto più tardi da suo fratello (in S. Carnot 1978); cioè in questi manoscritti manca una qualsiasi nota o miglioramento di questa trattazione, ciclo incluso; 3) né sembra adeguata una ipotesi pedagogica di S. Carnot verso il lettore.

Aggiungiamo che, malgrado la grande similarità tra questo libro e i libri di Lazare sulle macchine, Sadi non appare conoscere dettagliatamente i libri del padre: vedremo che quando in un manoscritto inedito egli tratta l'urto dei corpi, egli dimostra di ignorare la teoria completa dell'urto dei corpi espressa da suo padre, dove il caso dei corpi elastici è un caso particolare.

D'altro canto, quasi contemporaneamente alla morte di L. Carnot, morì il reazionario Laplace, che così terminò la sua dominazione sull'Accademia. Nel gennaio 1823 Fourier sostenuto dagli scienziati progressisti, venne eletto segretario perpetuo. Avendo raggiunto alcuni nuovi risultati scientifici, S. Carnot poteva sperare che l'Accademia delle Scienze, politicamente meno chiusa di prima, sarebbe stata obbligata a dare un omaggio, almeno indiretto, a Lazare Carnot.

Questa ipotesi spiega la frettolosa stesura del libro (ricordiamo le tante correzioni dell'ultimo momento, compresa quella del titolo, indicate dall'edizione critica 1978),

nonostante la mancanza di una scadenza accademica. Spiega anche l'immediata presentazione delle *Riflessioni* all'Accademia delle Scienze. Inoltre, notiamo che questa presentazione fu fatta da Girard, la cui principale caratteristica era quella di essere una persona in debito con Lazare Carnot per un episodio della rivoluzione. E in effetti non c'è evidenza che Girard abbia aiutato S. Carnot nella redazione delle *Réflexions* o, dopo la presentazione all'Accademia, nella sua diffusione. Inoltre la sua recensione scritta è superficiale (Girard); dobbiamo concludere o che egli non lesse attentamente il libro o che, più probabilmente, non voleva essere molto coinvolto nell'iniziativa di S. Carnot.

La nostra ipotesi spiega anche la mancanza di qualsiasi reazione pubblica alle *Réflexions*, dato che il tempo politico era molto reazionario. C'è da supporre che la motivazione profonda del figlio di Lazare fosse molto chiara agli altri, se non altro per lo stile e la semplicità della matematica del libro, che erano tipici di L. Carnot. E' molto probabile che perciò nessuno prese sul serio i risultati, in effetti non del tutto certi, ottenuti da un semplice outsider, che in realtà chiedeva all'Accademia di offrire un omaggio ufficiale al rivoluzionario L. Carnot.

Ricordiamo infine che solo dopo 15 anni dalla morte, nel 1837, Arago riuscì a proporre all'Accademia delle Scienze un necrologio di L. Carnot; e fu presentato in un modo molto prudente, allo scopo di non urtare gli avversari politici (Arago).

Ma perché nel frattempo il lavoro di S. Carnot non fu accolto da nessun teorico, salvo gli artigiani (Redondi)?

I suoi risultati erano inusuali: mettevano assieme in modo stupefacente gli interessi più pratici del mondo industriale, cioè le macchine che risparmiano lavoro, con i più avanzati strumenti intellettuali.

Si può inoltre sottolineare che resero complesso il discorso ed impedirono la piena comprensione del test: il linguaggio verbale ed arcaico (v. ad es. "fuoco" nel titolo), l'adesione ad un particolare punto di vista matematico (molto semplice, quello che era stato oscurato dai progressi di Lagrange nell'analisi infinitesimale), il metodo tipico di L. Carnot (rimasto poco seguito) e le molte precisazioni tecniche del suo ragionamento. Nessuno stupore se gli amici di S. Carnot (Robelin), Clapéyron (Clapéyron), Chasles (Chasles) apertamente ammettevano di essere incapaci di comprendere il libretto. Solo una radicale traduzione, come quella che poi fece Clapéyron, poteva renderlo accettabile dalla comunità scientifica.

Dal punto di vista dei suoi contemporanei il suo principale risultato poteva essere considerato come un notevole spunto metodologico, ma senza risultati definitivi; il lavoro appariva incompleto (non definiva una precisa funzione di efficienza) e incerto (sulla natura del calore, sulla funzione per i processi adiabatici). Tutto il lavoro sui gas che egli aggiunse al suo principale risultato (il teorema) non poteva cambiare questa valutazione. E pure i suoi risultati sui gas, erano notevoli sì, ma inficiati da una adiabatica errata e poi risultarono errati a causa di errori di due studiosi del suo tempo, Clément e Desormes.

6 - Ipotesi storiche sull'abbandono del libro di S. Carnot

Passiamo ora a cercare di comprendere perché S. Carnot non ha proseguito l'intenso studio, testimoniato dalle *Réflexions*, cioè perché i manoscritti inediti sono databili giusto negli anni attorno al 1824.

Valutando il risultato ottenuto, notiamo che lo studio dei gas rappresentava il massimo sforzo delle indagini di S. Carnot; dopo del quale, non essendo più assistito dalle indicazioni metodologiche di suo padre, egli cercò, senza successo, di poggiare i risultati della sua precedente argomentazione sia sulla ricerca di dati sperimentali decisivi sulle macchine termiche, sia su nuove formule matematiche. Ma non ottenne la definitiva funzione matematica L/Q sul ciclo, la funzione di massima efficienza. Non ottenne neanche risultati decisivi dalle nuove e vecchie leggi del gas, che purtroppo includevano anche risultati sbagliati.

Di fatto, si può vedere la fine dei suoi principali contributi a p. 40 delle *Réflexions*.

Quindi, tutto il suo libretto nato per un atto generoso di amore filiale era teoricamente abbastanza incoraggiante, aveva avuto anche delle illuminazioni teoriche, ma che in realtà erano insufficienti.

Un altro motivo per il quale S. Carnot può aver abbandonato lo studio della termodinamica, più o meno dopo le *Réflexions*, potrebbe essere il seguente. Il quadro concettuale che aveva costruito era molto incoraggiante per un outsider come lui e gli aveva prodotto molti risultati. Ma successivamente, i sempre più numerosi dubbi sulla teoria del calorico, avanzati da altri e da S. Carnot stesso (già nelle note postume; databili al 1824 e comunque non dopo il 1832; ma rivelate nel 1878) svalutarono tutto il quadro teorico fondato sul concetto di stato del sistema (a meno di inventare la funzione energia interna, trasformando il calorico in entropia: un salto concettuale enorme).

Infatti, negli scritti postumi egli applicò la conservazione dell'energia all'urto dei corpi "duri" (definiti da Newton come quelli che sono tanto rigidi da non rimbalzare nemmeno), dichiarandoli però impossibili. In effetti sempre più si stava facendo strada una visione energetica della meccanica e che faceva perdere terreno alla schematizzazione di Newton.

Come nota Scott (1970, p. 248): "la perdita di vis viva (cioè le somme $m_i U_i$ di Lazare Carnot) è esattamente compensata dalla comparsa di calore. Questo è il passaggio cruciale che era stato eluso dalla scienza settecentesca, ma che fu anticipato da Sadi Carnot - una sequenza veramente notevole". Infatti Sadi Carnot scrive nelle note manoscritte: "Si sa che nell'urto tra i corpi c'è sempre consumo di potenza motrice (energia). Solo i corpi perfettamente elastici possono essere eccezioni, ma in natura non esistono. Si sa anche che nell'urto dei corpi c'è un cambiamento di temperatura cioè un aumento... basta che il corpo, quando è percorso, cambi forma senza cambiare il volume perché ci sia liberazione di calore... sembra che il calore liberato debba essere attribuito all'attrito delle molecole della sostanza, perché cambiano di posto relativo, cioè il calore si libera precisamente là dove la forza agente si consuma" (foglio IV 8 recto e 8 verso). E quindi "Se come la meccanica sembra provare, non ci può essere vera creazione di potenza motrice (energia), non ci può essere nemmeno la sua distruzione - perché altrimenti tutta quella dell'Universo finirebbe per distruggersi - e allora non c'è vero urto tra i corpi" duri (foglio II recto e verso).

La frase finale esprime il fatto che l'urto tra corpi duri, così come era stato ipotizzato fino ad allora, non poteva esistere. Tutta la citazione è di una chiarezza impressionante. Il figlio ha fatto tesoro dell'esperienza del padre sull'energia e, in piena teoria del calorico, ne ha affermato la conservazione (così come aveva già fatto Leibniz, forse a lui sconosciuto) giungendo a precisare con lucidità la teoria moderna. In realtà bisognerà attendere il 1850 perché questa chiarezza venga enunciata di nuovo e si affermi nel mondo accademico definitivamente.

Prendendo la sua frase alla lettera, egli però distruggeva la sua stessa base teorica, cioè la teoria delle macchine meccaniche di Lazare Carnot, la quale ha i corpi duri come corpi di riferimento.

Questo fatto negativo poteva essere modificato a vantaggio di Sadi se lui avesse ricordato che la meccanica del padre è però indipendente da quella schematizzazione, perché aveva introdotto l'indice di elasticità, che appunto è compatibile con la conservazione dell'energia (ricavata da L. Carnot nell'*Essai* a p. 48-49); in più ivi tutto torna bene, se "duro" viene sostituito con "plastico". Ma ciò non viene notato da S. Carnot.

Infatti è da pensare che Sadi Carnot, da buon allievo dell'École Polytechnique, abbia seguito la tendenza scientifica là data da Laplace e Lagrange; ma poi è stato costretto a scoprire nei fatti (macchine termiche) quello che il padre aveva prodotto. Ma non si era dato il tempo e la cura di studiarne le opere di meccanica; per cui egli ne è rimasto influenzato come tutti (v. Arago), cioè con una conoscenza solo superficiale dell'*Essai* e dei *Principes*.

Pertanto, il quadro teorico, acquisito troppo rapidamente, gli venne a mancare ed egli non seppe porvi rimedio.

Bibliografia

- **Arago F.:** "Éloge de Lazare Carnot", *C. R. Acad. France*, 21 Agosto 1937
- **Birembaut A.:** "Sadi Carnot en son temps de 1817 à 1832", in Taton A., pp. 53-80
- **Carnot L.:** *Essai sur les machines en général*, Defay, Dijon, 1782 (trad. ital.: *Saggio sulle macchine*, Cuen, Napoli, 1994)
- **Carnot L.:** *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, Deterville, Paris, 1803
- **Carnot S.:** *La potenza motrice del fuoco – L'opera di Sadi Carnot fondatore della termodinamica. Versione italiana e guida didattica*, a cura di Jannamorelli B., Enea, Roma, 1988
- **Carnot S.:** *Sadi Carnot Réflexions sur la puissance motrice du feu*, édition critique par Fox Robert, Vrin J., Paris, 1978
- **Chasles M.:** *C.R.Acad. France*, 1869, p. 315
- **Clapéyron B.-P.-E.:** "Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur", *J. École Pol.*, **14** (1834) 153-190 (trad. ingl. in Mendoza 1960)
- **Drago A.:** *Le due opzioni*, La Meridiana, Molfetta, 1991
- **Drago A.:** "The principle of virtual works a source of two traditions in 18 th Century of mechanics"; in F. Bevilacqua (ed.): *History of Physics in Europe in 19 th and 20 th Century*, SIF, Bologna, 1993, pp. 69-80
- **Drago A. e Pisano R.:** "Interpretazione e ricostruzione delle Réflexions di Sadi Carnot mediante la logica non classica", *Giornale di Fisica*, 2000, pp. 195-217
- **Duhem P.:** *L'évolution de la mécanique*, Hermann, Paris, 1905, cap. I
- **Gillispie C.C.:** *Lazare Carnot savant*, Princeton U.P., Princeton, 1971, pp. 90-100
- **Gillispie C.C.:** "The scientific work of Lazare Carnot and its influence on that of his son", in Taton, pp. 23-31
- **Girard R.:** *Rev. Encyclopédique*, **23** (1824) 411-414
- **Iacono P.:** *La termodinamica di Sadi Carnot: reinterpretata e ricostruita sinteticamente*, tesi di laurea in Fisica, Università Federico II, Napoli, a.a. 1999-00

- **Koenig F.:** "On the history of science and the second law of thermodynamics", in H. M. Evans (ed.): *Men and Moments in the History of Science*, U. Washington P., 1959, pp. 57-111
- **Mendoza E.:** *Reflections on the Motive Power of Heat Engines*, Dover, New York, 1960, pp. 73-74; pp. 109-152
- **Pisano R.:** *La termodinamica di Sadi Carnot: una nuova interpretazione basata su Logica e matematica*, tesi di laurea in Fisica, Università Federico II, Napoli, a.a. 1998-99
- **Redondi P.:** *L'accueil des idées de Sadi Carnot*, Vrin, Paris, 1980
- **Robelin L.-P.:** "Notice sur Sadi Carnot", *Rev. Encyclop.*, **55** (1832) 528-530
- **Scott D. L.:** *The Conflict between Atomism and Conservation Laws*, Elsevier, 1971
- **Taton A.** (ed.): *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique*, CNRS, Paris, 1976.