



Rendiconti

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL

Memorie di Scienze Fisiche e Naturali

137° (2019), Vol. XLIII, Parte II, Tomo II, pp. 215-224

ELEONORA AQUILINI^{1*} – UGO COSENTINO²

NICOLA PASQUALETTI³ – FRANCESCA SIGNORI⁴

Julius Robert von Mayer e la conservazione dell'energia

Summary – Julius Robert von Mayer was among the first to state the principle of energy conservation. As a physician, he was interested in the relationship between heat and work driven by observations and considerations regarding the physiology of the human body. In 1842 he published a first manuscript in which he reported the value of the mechanical equivalent of heat; then in the paper of 1845 he explained the procedure followed for the calculation of this equivalent. The result achieved by Mayer, based only on theoretical calculations and presented before the experimentally determined value obtained by Joule, is of great interest in the history of thermodynamics.

Keywords: Heat, energy conservation, mechanical equivalent, work.

Riassunto – Julius Robert von Mayer è stato fra i primi a enunciare il principio di conservazione dell'energia. Medico di formazione, si è interessato al rapporto fra calore e lavoro mosso da osservazioni e considerazioni riguardanti la fisiologia del corpo umano. Nel 1842 ha pubblicato una prima memoria in cui ha riportato il valore dell'equivalente meccanico del calore, poi nella memoria del 1845 ha spiegato il procedimento seguito. Il risultato raggiunto da Mayer, attraverso calcoli teorici, prima delle esperienze e del valore ottenuto da Joule, è di grande interesse nella storia della termodinamica.

Parole chiave: Calore, conservazione energia, equivalente meccanico, lavoro.

^{1*} Liceo Artistico «F. Russoli», Via San Frediano 13, Pisa. E.mail: ele.aquilini6@gmail.com

² Dipartimento Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, Milano. E.mail: ugo.cosentino@unimib.it

³ ITIS «G. Marconi», Via Milano 1, Pontedera, Pisa. E.mail: nicopasqua@hotmail.com

⁴ ITC Cattaneo, Via Catena 3, San Miniato, Pisa. E.mail: fra.signori@gmail.com

Introduzione

Il medico tedesco Julius Robert von Mayer (1814-1878) è uno dei protagonisti dell'enunciazione del principio della conservazione dell'energia. Secondo Thomas Kuhn questo è un esempio particolarmente efficace di *scoperta simultanea* (Kuhn 1985 pp. 75-77):

Tra il 1842 e il 1847 l'ipotesi della conservazione dell'energia fu annunciata pubblicamente da quattro scienziati europei – Mayer, Joule, Colding ed Helmholtz – che lavoravano lontani fra loro e tutti, escluso l'ultimo, senza sapere nulla l'uno degli altri. La coincidenza è notevole, tuttavia questi quattro annunci sono unici solo in quanto associano la generalità della formulazione con concrete applicazioni quantitative. Sadi Carnot prima del 1832, Marc Seguin nel 1839, Karl Holtzmann nel 1845 e G. A. Hirn nel 1854, annotarono tutti, indipendentemente, che calore e lavoro erano quantità scambiabili e tutti calcolarono un valore del coefficiente di conversione o un equivalente. La convertibilità di calore e lavoro è, naturalmente, solo un caso particolare di conservazione dell'energia, ma la generalità che mancava in questo secondo gruppo di annunci si può trovare altrove nella letteratura di quel periodo. Tra il 1837 ed il 1844 C. F. Mohr, William Grove, Faraday e Liebig descrissero tutti il mondo fenomenico come manifestante soltanto una singola «forza», tale da poter apparire sotto forma elettrica, termica, dinamica, e sotto molte altre forme, ma che non poteva mai, in tutte le sue trasformazioni, essere creata o distrutta. Questa cosiddetta forza è nota agli scienziati successivi come energia. La storia della scienza non offre un caso più clamoroso del fenomeno noto come scoperta simultanea.

I primi enunciati del principio apparvero «in forme linguistiche che asserivano la conservazione di oggetti teorici variamente indicati con nomi quali *force*, *power* o *Kraft*. Lo stato del linguaggio era un riflesso di lacune nella conoscenza dei fenomeni tra loro diversi...» (Bellone 1998 p. 239)¹. La formulazione del primo principio della Termodinamica: «in un sistema isolato l'energia si conserva» ha le sue origini nella ricerca della costanza del rapporto fra lavoro e calore, ricerca che vide Mayer fra i protagonisti. Il percorso scientifico di Mayer è da collocarsi in un quadro di conoscenze complesso in cui hanno grande rilevanza l'idea dell'equivalenza tra calore e lavoro e la teoria della respirazione sviluppata da Lavoisier, insieme a Laplace, negli anni 1776-77 (Frontali 2018 p. 77-78). È sullo sfondo di queste convinzioni che si può collocare e interpretare il lavoro di Mayer che nasce dalle osservazioni che, giovane medico di bordo imbarcato sul *trealberi Java*, fece nel giugno del 1840 nel viaggio che lo portava a Giacarta.

In quell'occasione, avendo praticato salassi ad alcuni marinai, rimase impressionato dal colore rosso vivo del sangue venoso, più chiaro che alle latitudini in cui

¹ A proposito dell'uso del termine energia, leggiamo: «... fu Rankine che impose l'uso del termine. Egli introdusse il termine energia già nel titolo di una sua memoria del 1853, *On the General Law of the Transformation of Energy* (Phil. Mag., 4, XXVIII, 1853, p. 106) letta alla Glasgow Philosophical Society. È la prima volta che il termine è usato nel suo significato più generale, corrispondente all'uso che ne facciamo oggi». (Renzetti 2009 pp. 40-41).

era vissuto. Convinto della teoria di Lavoisier, secondo la quale il calore animale è prodotto dall'ossidazione dei cibi, si chiese in quale rapporto fossero calore e lavoro generati nell'organismo (Dall'Olio 2006 p. 258). Lo studio dell'equivalenza fra calore e lavoro viene a costituire l'aspetto principale degli studi di Mayer che lo portano nel 1842 a fornire una stima dell'equivalente meccanico della caloria, prima del risultato più preciso che comunicherà Joule nel 1847.

Julius Robert von Mayer e il suo tempo

Julius Robert von Mayer nacque a Heilbronn, nella regione tedesca del Württemberg dove il padre esercitava la professione di farmacista. Come i suoi tre fratelli, di cui era il minore, ricevette un'educazione scientifica fatta anche di esperimenti di chimica, utilizzando gli strumenti del laboratorio di famiglia. «Gustav Rümelin, uno degli amici più stretti di Robert Mayer, riporta che il padre di Mayer, dedicava il suo tempo libero a studi scientifici ed esperimenti e che la casa era piena di apparecchiature e strumenti fisici e chimici, collezioni botaniche e mineralogiche, piante medicinali, e molti libri, specialmente resoconti di viaggi». (Caneva 1993 p. 3). Era anche affascinato dagli strumenti meccanici e dall'idea di poter realizzare il moto perpetuo (Caneva 1993 p. 4). Si iscrisse alla facoltà di medicina di Tubinga nel 1832. Negli anni dell'università fu arrestato per l'appartenenza ad un'associazione studentesca proibita a causa delle idee liberali a cui si ispirava. Arrestato e poi espulso per un anno dall'università, in quel periodo si recò in Svizzera e frequentò corsi a Monaco e a Vienna. Si laureò in Medicina all'università di Tubinga nel 1838 con una tesi sulla santonina, un antielmintico. Dopo l'abilitazione alla professione conseguita a Stoccarda, praticò l'attività di medico nella sua città, Heilbronn. Sembrava tuttavia essere più interessato alla fisiologia e alla meccanica che alla medicina pratica e per questo motivo chiese di imbarcarsi, come medico di bordo, nel servizio coloniale olandese. «Nel giugno del 1840 il trealberi Java, partito da Rotterdam in febbraio, getta l'ancora nel porto di Surabaya nell'isola di Giava. Il giovane medico di bordo si trova nella necessità di praticare salassi ad alcuni marinai per una affezione polmonare epidemica che colpisce l'equipaggio e nel corso dell'operazione rimane impressionato dal colore rosso vivo del sangue estratto al primo paziente, tanto da indurlo a pensare di avere inciso un'arteria» (Dall'Olio 2006 pp. 257-258). Questa caratteristica colorazione del sangue riguardava anche gli altri marinai e questo strano caso di «fisiologia tropicale», insieme alla constatazione che l'acqua del mare in tempesta è più calda dell'acqua del mare calmo, lo indussero a cercare una relazione fra calore e attrito e l'origine del calore nell'organismo vivente. Mayer, tornato a Heilbronn, elaborò una riflessione molto articolata «sulle proprietà delle cause operanti in seno alla natura», sostenendo sia la tesi generale sulle forze intese come «oggetti imponderabili, indistruttibili e reciprocamente trasformabili», sia la tesi particolare sulla «connessione naturale che esiste tra la forza di caduta, il movimento e il calore» (Bellone 1998 p.

263). La memoria che scrisse sull'argomento è del 1842 e venne inviata agli *Annalen der Physik und Chemie*, rivista di Johann Christian Poggendorf. La memoria non fu pubblicata, perché Poggendorf rilevò molte inesattezze e la giudicò piuttosto confusa. Fu poi pubblicata in forma più concisa nella rivista di Justus Liebig, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, con il titolo *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (Mayer 1867 pp. 1-12). In questo lavoro Mayer riportò, senza fornire spiegazioni chiare ed esaustive, il valore dell'equivalente meccanico del calore. Successivamente, nel 1845, nella memoria *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*, riportò il procedimento eseguito per il calcolo dell'equivalente meccanico che, espresso nelle attuali unità di misura, risulta pari a $3,58 \text{ J cal}^{-1}$. Nel 1849 James Prescott Joule pubblicò il lavoro: *Sull'equivalente meccanico del calore*, proponendo il valore di $4,154 \text{ J cal}^{-1}$ (oggi il valore accettato è 4,184). Nacque un conflitto fra Joule, che sosteneva di non essere stato a conoscenza dei risultati di Mayer, e lo stesso Mayer che rivendicava la paternità del risultato. Il dispiacere per il mancato riconoscimento fu tale che nel 1849 Mayer tentò il suicidio e nel 1851 fu ricoverato in una casa di salute mentale. Sebbene molto provato dagli eventi, riuscì a riprendere la sua vita professionale, pur mantenendosi lontano dall'attività scientifica per diversi anni. Negli ambienti scientifici tuttavia si era raggiunta la consapevolezza dell'importanza del lavoro di Mayer fino a che «nel 1869 Mayer, presente ad un congresso di scienziati tedeschi a Innsbruck, ebbe la grande soddisfazione di sentirsi attribuire da Helmholtz il riconoscimento delle sue scoperte. Sarà John Tindall a riabilitare completamente lo sfortunato studioso» (Dall'Olio 2006 p. 259). Dopo questi tardivi, seppur importanti riconoscimenti, Mayer morì di tubercolosi nel 1878.

Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur (1842)

Nel lavoro del 1842 (*Riflessione riguardo alle forze della natura inanimata*), Mayer si pone «lo scopo di capire cosa intendiamo per “forze” e in che relazione stanno tra di loro». Mayer specifica che mentre «con il termine materia si attribuiscono ad un oggetto proprietà ben definite, ad esempio quelle di peso, di volume, il termine *Kraft* (forza) è un concetto sconosciuto, non tangibile, ipotetico». Riportiamo alcuni passaggi importanti del testo di Mayer:

Le forze sono cause e quindi ad esse si applica il principio: *causa equat effectum*, la causa equivale all'effetto. Se la causa c provoca l'effetto e , allora $c = e$, se e a sua volta è causa di un effetto f , allora $e = f$ e, di conseguenza $c = e = f = c$.

In una catena di cause ed effetti, come mostrato nell'equazione precedente, nessun membro dell'equazione può mai diventare zero (altrimenti sarebbero tutti zero). Chiamiamo questa prima proprietà delle cause: «indistruttibilità, impossibilità di azzeramento».

Se una data forza c ha prodotto un effetto di pari entità, allora c non esiste più, ossia si è trasformata completamente nel suo effetto e . Se invece, a seguito della produzione di e , c rimanesse in parte o del tutto inalterata, alla parte di c che

non è servita a formare e (causa rimanente) dovrebbe corrispondere un altro effetto diverso da e , il che è contrario al presupposto $c = e$.

Siccome c si trasforma in e , e in f , e così via, dobbiamo considerare gli altri valori come differenti valori dello stesso oggetto c . La capacità di assumere forme diverse è la seconda caratteristica essenziale di tutte le cause.

Riassumendo entrambe le proprietà, diciamo che le forze sono quantitativamente indistruttibili e qualitativamente mutevoli (Mayer 1867 pp. 1-2).

È significativo anche il passaggio che segue:

La chimica, la cui essenza consiste nell'individuazione dello sviluppo causale dei fenomeni descrivibili come equazioni, e che ha a che fare con la materia, ci dimostra che la materia è una causa efficiente, ma che la materia è anche un effetto; pertanto è lecito affermare che ad una forza corrisponde una causa, e allo stesso modo ad una forza corrisponde un effetto.

Poiché $c = e$, ed $e = c$, non è lecito chiamare un membro dell'equazione una forza e l'altro un effetto della forza e considerare fra loro diversi i concetti di forza e di effetto della forza.

In breve, se la causa è una materia, l'effetto è della stessa natura; se la causa è una forza, l'effetto è esso stesso una forza (Mayer 1867 p. 3).

Di conseguenza alle premesse, la forza di caduta (*Falkkraft*) e il movimento sono entrambe forze che si comportano come causa ed effetto:

Una causa che provoca lo spostamento di un carico è una forza. Il suo effetto, il carico sollevato, è pertanto esso stesso una forza; in generale la differenza di posizione di un oggetto ponderabile è una forza. Poiché questa fatto causa la caduta del corpo la chiamiamo Forza di caduta² [...] La forza gravitazionale e il movimento si comportano come causa ed effetto, forze che diventano una cosa sola, due diverse manifestazioni di uno stesso oggetto. [...] È oggetto della meccanica sviluppare il nesso fra la forza di caduta e movimento, forza di movimento e caduta, nonché le equazioni fra essi esistenti (Mayer 1867 p. 3).

Per quanto riguarda il rapporto fra calore e movimento i ragionamenti di Mayer risultano non chiari e talvolta contraddittori. Mayer presenta l'esempio di due pezzi di ghiaccio che sfregati insieme nel vuoto, per effetto dell'attrito, subiscono un aumento della temperatura; analogamente, la stessa cosa accade se si agita l'acqua in un'apparecchiatura. Infatti, scrive: «L'ipotesi della variazione termica implica che il calore sia l'effetto del movimento ma questa relazione causale pone interrogativi complessi».

Se ormai è stabilito che per il movimento in molti casi (l'eccezione conferma la regola) non si può trovare altro effetto che il calore, e che per il caldo risultante non può essere ipotizzata nessun'altra causa che il movimento, traiamo la conclu-

² Nel testo del 1842 e in quello del 1845 vengono usati i termini *Falkkraft* (forza di caduta) e *Schwerkraft* (gravità). «La *causa mathematica* di Newton, la Gravità, è riferita al Tempo; essa rappresenta la Causa o la Massa dell'Accelerazione. [...] Per contro la Forza di caduta si riferisce allo spazio di caduta, essa rappresenta la *causa physica*, la Causa o la Massa del Movimento. Se chiamiamo v la Forza, m la Massa c la Velocità, ne risulta $v = mc^2$ (Mayer 1867 p. 33).

sione che il calore nasce dal movimento. La connessione naturale fra caduta, movimento e calore può essere illustrata nel modo seguente: sappiamo che il caldo viene prodotto quando le singole parti di un corpo si muovono. L'attrito genera calore; ciò che ora si applica alle parti più piccole della materia e alla scala più piccola, deve essere applicato anche a grandi masse e spazi liberi da disordine (Mayer 1867 p. 6).

Tuttavia, ciò che sembra impedire a Mayer di connettere semplicemente calore e movimento, è il problema, non banale per l'epoca, *dell'essenza del calore*, problema con il quale non vuole confrontarsi³.

Se è vero che l'essenza della forza di caduta è il suo movimento, questa conclusione si applica con difficoltà al calore.

Enrico Bellone, riferendosi alla prima metà dell'ottocento ha evidenziato che «le teorie disponibili avevano spesso in comune l'idea che la materia allo stato gassoso si comportasse come un fluido elastico le cui particelle risentivano di interazioni con il fluido calorico» (Bellone 1998 pp. 241-242).

Proseguendo il suo ragionamento, nel lavoro del 1842, Mayer si chiede:

Quanto sia grande una certa quantità di calore corrispondente a una certa quantità di forza o movimento. Ad esempio, dobbiamo scoprire quanto in alto deve essere sollevato un certo peso dal suolo, in modo che la sua potenza di caduta provochi il riscaldamento di un ugual volume d'acqua da 0°C a 1°C.

Senza fornire dettagli sul procedimento adottato, scrive la conclusione a cui è giunto, ossia che la caduta di un peso da un'altezza di 365 m, provoca il riscaldamento di una stessa quantità in peso di acqua da 0°C a 1°C.

Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel (1845)

Nel lavoro del 1845: *Il movimento della materia animata nella sua correlazione con il ricambio organico*, dopo aver ripreso le parti riguardanti la relazione fra forza, calore e movimento, già analizzate nell'opera del 1842, riporta il procedimento seguito per ottenere il risultato dell'equivalente meccanico del calore.

Era noto che il calore necessario per far aumentare la temperatura di un gas di una certa quantità era differente a seconda che il riscaldamento avvenisse a pres-

³ Anche nello scritto del 1845, riprende l'argomento del legame fra movimento e calore e sembra volersene occupare solo dal punto di vista fenomenologico. A proposito del discioglimento del ghiaccio, scrive: «Quando si stabilisce una trasmutazione di calore in effetto meccanico, ci si riferisce meramente al dato di fatto ma la trasmutazione non ne risulta affatto chiarita. Una data quantità di ghiaccio può ben essere trasformata in una corrispondente di acqua; questo è un dato di fatto indipendente da infruttuose domande sul come e sul perché e da vuote speculazioni sulla causa ultima degli stati di aggregazione. La scienza schietta si accontenta di acquisizioni positive e lascia volentieri ai poeti e ai filosofi naturali di riproporre l'eterno enigma della natura con l'aiuto della fantasia» (Mayer 1867 p. 24).

sione costante o a volume costante. Nel caso di aumento di temperatura a pressione costante il calore Q_p fornito è superiore al calore Q_v richiesto quando il riscaldamento viene effettuato a volume costante. L'idea di Mayer era che tale differenza fosse imputabile al lavoro di espansione che il gas compiva durante il riscaldamento a pressione costante (Fig. 1). A partire dai dati a sua disposizione Mayer calcola (vedi Schema 1) il rapporto fra le due grandezze (effetto meccanico e differenza fra Q_p e Q_v) quando l'aumento di temperatura è pari a 1°C e ricava l'equivalente meccanico del calore pari a 367 g m cal^{-1} che può essere letto come: la quantità di calore richiesta per innalzare di 1°C la temperatura di una certa quantità di acqua è uguale alla forza di caduta di uno stesso peso da un'altezza di 367 m.

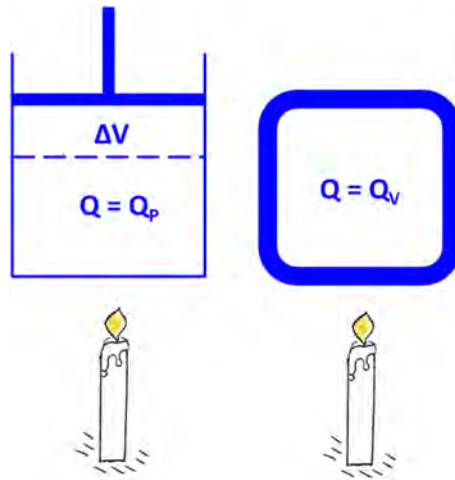


Fig. 1. Il calore richiesto per innalzare di una certa quantità la temperatura di un gas è maggiore se il riscaldamento viene effettuato a pressione costante (Q_p) rispetto a quando il riscaldamento è effettuato a volume costante (Q_v): tale differenza è legata al lavoro di espansione che il gas compie durante il riscaldamento a pressione costante. Open source.

Schema 1: Il calcolo dell'equivalente meccanico del calore

Mayer calcola «l'effetto meccanico» y (che possiamo ricondurre al significato di lavoro) associato al riscaldamento a pressione costante di 1 cm^3 di aria da 0° a 1°C nel seguente modo:

$$y = P h$$

Considerando una colonna di mercurio di base 1 cm^2 e di altezza 76 cm , il volume della colonna di mercurio risulta:

$$V_{\text{Hg}} = 1 \text{ cm}^2 \cdot 76 \text{ cm} = 76 \text{ cm}^3$$

Nota la densità del mercurio a 0°C ($d_{\text{Hg}} = 13,60 \text{ g cm}^{-3}$), il peso P_{Hg} della colonna risulta:

$$P_{\text{Hg}} = V_{\text{Hg}} d_{\text{Hg}} = 76 \text{ cm}^3 \cdot 13,60 \text{ g cm}^{-3} = 1033 \text{ g}$$

La variazione di volume (ΔV) associata all'espansione di 1 cm^3 di aria che passa da 0°C a 1°C alla pressione costante di 76 cm di Hg è pari a: $\Delta V = (1/274) \text{ cm}^3$. Ovvero, se la base della colonna misura 1 cm^2 , l'innalzamento h osservato della colonna di mercurio sarà: $h = 1/274 \text{ cm} = 0,00365 \text{ cm}$

A questo punto è possibile calcolare l'effetto meccanico dovuto all'espansione, y :

$$y = P h = 1033 \text{ g} (1/274) \text{ cm} = 1033 \text{ g} \cdot 0,00365 \text{ cm} = \mathbf{3,770 \text{ g cm}}$$

Mayer passa quindi al calcolo del calore associato al riscaldamento a pressione costante di 1 cm^3 di aria da 0° a 1°C .

Era noto il valore del calore specifico dell'aria per un riscaldamento a pressione costante ($C_p = 0,267 \text{ calg}^{-1} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$) e il valore del rapporto fra C_p e il calore specifico dell'aria per un riscaldamento a volume costante, C_v :

$$C_p / C_v = 1,421$$

da cui: $C_v = 0,188 \text{ calg}^{-1} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$

Nota la densità dell'aria a 0°C , risulta che 1 cm^3 di aria alla temperatura di 0°C e alla pressione di 76 cm di mercurio pesa $0,0013 \text{ g}$. Il calore assorbito a pressione costante, Q_p , per l'innalzamento di 1°C risulta quindi:

$$Q_p = m_{\text{aria}} C_{p,\text{aria}} \Delta T = 0,0013 \text{ g} \cdot 0,267 \text{ calg}^{-1} \text{ }^\circ \text{C}^{-1} \cdot 1^\circ \text{C} = 0,000347 \text{ cal}$$

Il calore assorbito a volume costante, Q_v , è invece dato da:

$$Q_v = m_{\text{aria}} C_{v,\text{aria}} \Delta T = 0,0013 \text{ g} \cdot 0,188 \text{ calg}^{-1} \text{ }^\circ \text{C}^{-1} \cdot 1^\circ \text{C} = 0,000244 \text{ cal}$$

La differenza:

$$\mathbf{Q_p - Q_v = 0,000347 - 0,000244 = 0,000103 \text{ cal}}$$

corrisponde alla capacità del sistema di sollevare di $1/274 \text{ cm}$ un peso di 1033 g , ovvero all'effetto meccanico y precedentemente calcolato.

Dai valori così calcolati, Mayer determina quindi la costante di proporzionalità (o l'equivalente meccanico del calore) k :

$$\mathbf{k = y / (Q_p - Q_v) = (3,770 \text{ g cm} / 0,000103 \text{ cal}) = 36700 \text{ g cm cal}^{-1} = \mathbf{367 \text{ g m cal}^{-1}}$$

Tenuto conto della trasformazione della massa in forza-peso e riportando il risultato nelle unità di misura del Sistema Internazionale, si ottiene:

$$\mathbf{k = (367 \text{ g m cal}^{-1} \cdot 9,8 \text{ m s}^{-2}) / (1000 \text{ g kg}^{-1}) = 3,60 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} / \text{cal} = \mathbf{3,60 \text{ J} / \text{cal}}$$

Conclusioni

In questo lavoro abbiamo illustrato il modo in cui Mayer ha calcolato l'equivalente meccanico del calore. Il procedimento seguito da Mayer, sebbene non supportato dall'esecuzione di esperimenti fatti in prima persona è comunque, a nostro avviso, di grande valore. Restano più problematiche le considerazioni collegate alla fisiologia della respirazione e combustione nel corpo umano. Queste si basano, in gran parte, sull'assunzione della teoria di Lavoisier secondo la quale nella respirazione si consuma ossigeno, si emette aria fissa (CO_2) e si ha sviluppo di calore in un rapporto, rispetto alla quantità di aria fissa emessa, grosso modo equivalente a quello derivante dalla combustione di una quantità nota di carbone; inoltre Lavoisier trovò, a seguito di esperimenti svolti con Armand Séguin, che la quantità di aria inspirata ed espirata era collegata al numero di pulsazioni e che queste ultime erano proporzionali al lavoro muscolare (Frontali 2018 pp. 77-91). Nella visione di Mayer il corpo umano è una macchina spiegabile con processi chimico-fisici elementari.

Gli aspetti fisiologici che hanno indotto l'autore a iniziare la ricerca inerente il rapporto fra calore e lavoro, ossia il colore rosso del sangue venoso dei marinai di Giacarta, vengono affrontati sempre nel lavoro del 1845 e vedono una conclusione nell'articolo del 1851: *Bemerkungen über das Mechanische Aequivalent der Wärme*. «In questo articolo Mayer sostiene che il cambiamento di colore del sangue nei capillari è dovuto ai processi di ossidazione che hanno luogo nel fluido e che la produzione di calore e il processo di ossidazione devono essere inferiori nelle zone torride rispetto alle zone fredde. Il rossore del sangue venoso implica una minore ossidazione del cibo consumato e quindi una minore produzione di calore. Le persone che vivono ai tropici hanno meno bisogno di calore e necessitano quindi di ossidare una minore quantità di cibo» (Wisniak 2008 p. 220). Per le conoscenze attuali, i processi che portano alla composizione del sangue venoso e arterioso non sono riconducibili alle motivazioni che ha riportato Mayer nelle memorie del 1845 e del 1851. Tuttavia, le indagini che conducono Mayer alle sue conclusioni sono interessanti alla luce delle conoscenze dell'epoca. L'interesse che suscita il lavoro di Mayer riguarda principalmente il calcolo dell'equivalente meccanico del calore e quindi l'apertura verso la formulazione del primo principio della termodinamica. Per quanto riguarda la *querelle* tra Mayer e Joule sul riconoscimento di paternità della scoperta dell'equivalente meccanico del calore, non si può aggiungere nulla più di quanto sia stato già scritto. Ricordiamo che lo stesso Joule, nella comunicazione del 1849 scrive: «Da questo fatto, tutti apprezzeranno la sagacia del signor Mayer nel predire le relazioni numeriche tra calore e forza, ma non dobbiamo negare, credo, che sono stato il primo a dimostrare l'esistenza dell'equivalente meccanico del calore e che ha fissato il suo valore numerico con esperimenti incontestabili» (Joule 1849 pp. 132-135).

BIBLIOGRAFIA

- Bellone E., 1998, *Dal calorico alla conservazione dell'energia*, in Paolo Rossi (a cura di), *Storia della Scienza moderna e contemporanea*, Vol. 2, Torino, TEA, p. 239, p. 263.
- Caneva K.L., 1993, *Robert Mayer and the Conservation of Energy*, Princeton University Press, Princeton, pp. 3-6.
- Dall'Olio G., 2006, Julius Robert von Mayer, un medico e la termodinamica, la Rivista italiana della Medicina di Laboratorio, Vol. 2, pp. 257-260.
- Frontali C., 2018, Le parole della Fisica: Energia-Physical Terms: Energy, Giornale di Fisica, Vol. LIX, Gennaio-Marzo, pp. 77-91. http://static.sif.it/SIF/resources/public/files/proofs/gdf_59-1_body.pdf (ultima consultazione dicembre 2019).
- Kuhn T.S., 1985, *La tensione essenziale*, Cap. 4, Torino, Einaudi, pp. 75-114.
- Mayer J.R., 1867, *Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften*, Stuttgart, in esso sono contenuti: *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* pp. 1-12, *Die Organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel* pp. 13-126. http://books.google.it/books?id=Y4YEr8ci_oIC (ultima consultazione Dicembre 2019), traduzioni di Francesca Signori e Nicola Pasqualetti.
- Joule J.P., 1849, Sur l'équivalent mécanique du calorique, Comptes Rendus, Vol. 28, pp. 132-135.
- Mayer J.R., 1851, *Bemerkungen über das Mechanische Aequivalent der Wärme*, J.U. Landherr, Heilbronn.
- Renzetti R., 2009, La Fisica dell'Ottocento. Parte III: i contributi alla termodinamica ed altri lavori di Helmholtz, <http://www.fisicamente.net/FISICA/index-1764.pdf> (ultima consultazione dicembre 2019).
- Wisniak J., 2008, Conservation of Energy: readings on the Origins of the First Law of Thermodynamics. Part II, Educacion Química, Vol. 19, pp. 216-225.