

G 69

DISSERTAZIONE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della R. Scuola d' applicazione per gli Ingegneri

IN TORINO

DA

FRANCESCO VALENTINI

da Modena

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI INGEGNERE LAUREATO



SASSUOLO

TIPOGRAFIA DI VINCENZO MONETI

1869

ALLA SACRA E VENERATA MEMORIA
DI MIO PADRE... E DI MIA MADRE



A TE OTTIMO MIO

COSTANZO

IN SEGNO DI RICONOSCENZA

ALLE CURE E SACRIFICI TUOI

QUESTO POVERO LAVORO

OPERO E DEDICO



Dell' Equivalenza del Calore col Lavoro meccanico

I.

La teoria dell' Equivalenza del Calore col lavoro Meccanico « *Ogni qualvolta si spende del lavoro Meccanico appare una quantità determinata di calore, e reciprocamente quando sparisce una quantità di calore raccogliesi una determinata quantità di lavoro meccanico* », conseguenze del principio della permanenza delle forze. (nihil ex nihilo, nihil in nihilum), è tale scoperta che sola basterebbe ad illustrare il nostro secolo.

A Chi debba attribuirsi è incerto, poichè in questa come nella maggior parte delle grandi scoperte la nuova idea si manifestò a molti pensatori sotto forma differente, più o men chiara, più o men vasta, finchè sorse chi valendosi del già fatto la pose sopra solide basi.

Newton concordando con Cartesio enunciava (1648) il principio che *vi ha nella natura creata una certa quantità di moto che nè aumenta nè diminuisce giammai*, e considerava il calore come un movimento molecolare suscettibile di mettere in movimento l' etere.

In una memoria di Lavoisier e Laplace (1780) si trova: *altri fisici sono d' avviso che il calore sia solamente il risultato di vibrazioni insensibili della materia*; ma di questa asserzione non approfittarono; anzi Laplace sostenne di poi la materialità del calore. Sembra che Mongolfier intravedesse il rapporto fra calore e lavoro quando (1800) immaginava il piro-ariete in cui una certa quantità d' aria riscaldata produceva il movimento colla sua espansione, e la quantità di calore che in questa veniva impiegata era in seguito restituita onde potesse riprendere la sua azione.

In appresso (1804) Rumford volendo nelle sue memorie sul calore confutare le opinioni di Laplace, diceva « *la somma delle forze vive nell' universo deve restar sempre la medesima nonostante l' azione e la reazione dei corpi*; e faceva di tali esperienze che dimostravano la non materialità del calore, e che prese in considerazione dai contemporanei avrebbero portato alla teoria dell' Equivalenza.

L' opuscolo « *Riflessioni sulla potenza del calore* » di Sadi-Carnot (1824) contiene il germe della nuova scienza. L' Autore stabiliva. 1. Il calore produce lavoro meccanico. 2. L' unità di calore non può produrre lavoro al di là di un massimo che non può essere oltrepassato. 3. La produzione del lavoro nelle macchine a fuoco è dovuta non ad una consumazione di calore, ma al passaggio del calorico da un corpo caldo ad un corpo freddo. Errava però in questa terza deduzione dove ci dà un lavoro senza spesa di calore, un effetto senza causa; ma egli era indotto a questa falsa conseguenza partendo dall' ipotesi dell' emissione.

Non meno utile alla teoria fu Clepeyron che traduceva analiticamente e geometricamente i ragionamenti del succitato libro; ed è qui ove si trovano i primi esempi di quei cicli di operazioni nei quali si prende un corpo in un dato stato, lo si fa passare ad uno stato diverso seguendo una certa strada, poi per altra via lo si ritorna allo stato primitivo. È notevole ancora l'osservazione emessa (1839) da Seguin; egli diceva « *Mi pare naturale di supporre che una certa quantità di calorico sparisca nell'atto stesso della produzione della forza o potenza meccanica e reciprocamente. La forza meccanica che apparisce durante l'abbassamento di temperatura di un gaz o di ogni altro corpo che si dilata, è la misura e la presentazione della diminuzione del calore.* »

Ma quelli che stabilirono la termodinamica sopra solide basi quale è oggidi universalmente abbracciata, sono il tedesco Mayer e l'inglese Joule. Le opere di Mayer a tale proposito sono: Le osservazioni sulle forze della natura inanimata (1842); il movimento organico ne' suoi rapporti colla nutrizione (1845); l'introduzione alla meccanica del cielo (1848); le considerazioni sull'equivalente meccanico del calore (1851). In queste opere frutto del lavoro di soli 10 anni, quest'uomo di genio, toccò tutte le quistioni su cui si svolse poi la termodinamica e stabiliva: 1. L'equivalenza del calore col lavoro meccanico e viceversa. 2. La costanza del rapporto tra il calore consumato ed il lavoro prodotto, qualunque sia il mezzo per cui ha luogo la trasformazione. Egli diceva = *La legge calore eguaglia effetto dinamico* = è indipendente dalla natura del fluido elastico il quale non è altro che lo strumento pel di cui mezzo una forza è convertita in

un'altra. Ioule sviluppava i suoi lavori secondo l'usanza inglese, in lezioni pubbliche corroborate da esperienze. La prima memoria (1843) contiene delle ricerche sul calore sviluppato dalle correnti indotte e dalle leggi secondo le quali questo varia quando si fa lavoro. Poscia (1845) sperimentava sulla dilatazione dei gaz.

Finalmente comparve nelle *transazioni filosofiche* (1850) una esposizione completa della nuova teoria. A datare da quest'epoca fu un continuo sorgere da ogni parte di scienziati a portare nuove conferme, nuovi sviluppi; quindi Regnault e Hirn in Francia, Thomason e Rankin in Inghilterra, Clasius e Zeumr in Germania ed altri molti concorsero col loro ingegno al rapido progresso di questa scienza.

II.

Che fra il calore ed il lavoro esista una relazione è provato da una serie di fatti naturali; l'attrito, la deformazione, la compressione ecc.

I corpi s'infuocano sotto l'azione della filiera o del laminatoio: una sbarra metallica sottoposta ad un carico capace di romperla manifesta uno strangolamento nel luogo in cui deve avvenire la rottura ed il metallo si fa ardente in quel punto; una striscia di caoutchouc vivamente stirata si riscalda; un gaz che si dilati non per via di riscaldamento, ma per il suo espandersi in uno spazio assegnatogli si raffredda perchè sviluppa il lavoro della propria espansione: le azioni chimiche sono accompagnate da un lavoro molecolare che è distrutto, originandosi una contemporanea apparizione di calore: il corpo

animale sotto l'aspetto fisico e meccanico si può considerare da una parte come sorgente continua di calore, dall'altra come macchina capace di produrre o di consumare lavoro; sorgente di calore da che la respirazione non è che una combustione del carbonio e dell'idrogeno dei cibi; macchina perchè l'esperienze hanno dimostrato che quando il lavoro esterno positivo comincia, la respirazione di una medesima quantità d'aria sviluppa una quantità minore di calore; al contrario questa quantità di calore è aumentata quando comincia il lavoro negativo.

Se è vera la trasformazione del lavoro meccanico in calore e reciprocamente, ne segue che deve esistere un rapporto costante tra la quantità di calore scomparso o comparso e la quantità di calore prodotto o consumato, qualunque sia la natura dei corpi coll'intermezzo dei quali avviene la trasformazione.

Mayer e Joule indipendentemente l'uno dall'altro chiamavano *equivalente dinamico del calore* la quantità di lavoro prodotto dallo sparire di una caloria e dissero *equivalente calorifico del lavoro* la quantità di calore prodotta spendendo un chilogrammetro.

Sia e l'equivalente dinamico del calore

Q un numero di calorie

Qe sarà la quantità di lavoro in chilogrammetri che può produrre la sparizione di Q calorie

Del pari se L esprime un certo numero di chilogrammetri L/e rappresenta il numero di calorie in cui questo lavoro può convertirsi.

La determinazione di questo equivalente può farsi tanto sperimentalmente che in via di calcolo.

III.

I principali esperimenti che vennero istituiti si fondano

1. Sulla compressione dei gaz.
2. Sulla dilatabilità.
3. Sull' attrito dei liquidi.
4. Sull' attrito dei solidi.
5. Sullo schiacciamento del piombo.
6. Sulla resistenza magneto-elettriche.

I. Se con una tromba si comprime un gaz entro l'acqua di un calorimetro, si spende lavoro di compressione e si produce calore, il rapporto di queste due quantità dà e. Joule operò su diversi gaz ed $e=444$ Kilogrammetri fu il risultato delle sue esperienze.

II. Il detto per la compressione può reciprocamente ripetersi per la dilatazione. Potendosi però obiettare che la produzione o la perdita di calore possa essere manifestazione di quello che il gaz possedeva, farò osservare: I. che esperienze di Regnault hanno dimostrato che la capacità calorifica dei gaz varia assai poco colla pressione; II. che una esperienza di Joule, più accuratamente ripetuta da Hirn, provò che il volume di un gaz può aumentare senza che sparisca calorico, purchè nell' espansione non produca lavoro esterno.

III. Questo è forse il più diretto. Un peso discende, e per mezzo di una funicella fa ruotare un asse munito di palette sommerse in un calorimetro. Evidentemente quelle palette soffrono un attrito, hanno da vincere una resistenza: vi è dunque lavoro meccanico maggiore di quello che si avrebbe se le palette si muovessero nell'aria.

Quell' attrito sviluppa calore. Operando in questo modo Joule trovò $e=424$ Kilogrammetri. Dopo lui sperimentarono Favre ed Hirn e giunsero a numeri poco dissimili.

IV. È analogo al precedente, salvo che entro l'apparecchio invece dell'acqua vi è del mercurio, e che alle pale sono sostituite due ruote coniche non dentate, di cui una fissa all'albero motore, l'altra può muoversi lungo l'albero e si può far premere sulla ruota inferiore mediante una leva.

V. Laboulaye con un verricello sollevava un maglio che lasciava cadere sul piombo; nella discesa del maglio aveva un lavoro, nell'innalzamento di temperatura del piombo un calore, quindi i dati per la determinazione di e .

VI. Joule col mezzo di pesi che discendevano faceva ruotare un cilindro di vetro pieno d'acqua, racchiuso fra i due poli di un elettro-calamita. La massa forzata a girare in causa di uno sforzo esterno si riscaldava assolutamente come se un attrito reale avesse necessitata la stessa spesa di lavoro motore.

IV.

La determinazione di questo equivalente sembrava di esclusivo dominio dell'esperienza, allorchè Bouget riuscì a dimostrarlo analiticamente: mise egli in evidenza questa verità: che se il corpo sottoposto all'azione del calore è un gaz permanente, l'equivalente è conseguenza rigorosa della legge di Mariotte combinata con quella di Gay-Lussac, e delle proprietà dei gaz relativamente ai loro calorigi specifici sia a pressione che a volume costante; e che il valore numerico di questa quantità, non lascia altra

incertezza di quella che può esistere sul valore supposto costante, sia del coefficiente di dilatazione dei gaz, che dei loro calorici specifici.

Anzi tutto conviene calcolare il lavoro esterno di un gaz che si espande, superando una pressione. Abbiasi un gaz che si dilati, spingendo avanti a se uno stantuffo. Sia :

S l' area della sezione interna del cilindro

p la pressione della massa gazosa riferita all'unità di superficie.

x lo spazio percorso dallo stantuffo in un determinato tempo.

Per uno spazietto dx si può ritenere costante la pressione ed eguale alla media fra la iniziale e la finale di un tempuscolo, quindi il lavoro esterno sviluppato dal gaz in questa dilatazione sarà :

$$(p + \frac{1}{2} dp) S dx$$

trascurando gli infinitesimi di second' ordine, ed avvertendo che Sdx vale il differenziale del volume, dv:

$$p dv$$

esprimerà il lavoro infinitesimo fatto dal gaz.

Considerando una dilatazione finita dal volume iniziale v_0 , al volume finale v_1 il lavoro sviluppato sarà :

$$L = \int_{v_0}^{v_1} p dv$$

espressione che si potrà integrare, quando si conosca la relazione $p=f(v)$ che lega la pressione col volume generato dallo stantuffo, e ci dimostra che il lavoro esterno fatto da una massa gazosa quando si espande, è propor-

zionale all' area di una curva che riferita ad essi coordinati ortogonali ha per equazione $p=f(v)$. Qualunque poi sia la legge secondo cui si fa l' espansione, sempre è possibile costruire una curva le cui ascisse rappresentino i volumi, le ordinate le pressioni: se è a temperatura costante la linea dicesi *isotermica*, se impermeabile al calore, *adiabatica*.

Dal caso generale passando a quello della pressione costante, si ha il lavoro espresso da:

$$L = \int_{v_0}^{v_1} p dv = p (v_1 - v_0) \quad (1)$$

cioè eguale alla pressione moltiplicata per la quantità di cui si accresce il gaz.

Ciò posto si potrà ottenere il valore analitico dell' equivalente meccanico, calcolando il rapporto del calore esterno sparito mentre il gaz si dilata, col corrispondente lavoro raccolto sullo stantuffo.

I. Metodo. Sia :

C il calorico specifico del gaz a pressione costante

c il calorico specifico del gaz a volume costante

t la temperatura iniziale della massa gazosa

t_1 la temperatura finale

C (t_1-t) sarà la quantità totale di calore che si deve somministrare ad una massa gazosa di 1 Kilogramma perchè passi dallo stato (p,v,t) , allo stato (p,v_1,t_1) . Di questa quantità di calore una parte si rende sensibile al termometro, l' altra parte si converte in lavoro esterno; ed è questa che si deve calcolare. Perciò se la massa gazosa espandendosi non dovesse vincere alcuna pressione

esterna, non produrrebbe alcun lavoro, non le sarebbe quindi tolta alcuna quantità di calore, e si troverebbe quindi ad avere il volume finale con la temperatura t che aveva prima dell' espansione. In questo stato siccome il volume è costante, la si ridurrebbe alla temperatura t_1 comunicandole una quantità di calore $c(t_1-t)$. Quindi la quantità di calore che si è convertita nel lavoro esterno è data da :

$$C(t_1-t) - c(t_1-t) = (C-c)(t_1-t) \quad (2)$$

Ora il lavoro L dato dalla (1) (ove v e v_1 sono i volumi occupati dalla massa gazzosa alla temperatura t e t_1 , e p è costante per ipotesi) diviso per l' equivalente dinamico deve essere eguale alla (2) ossia :

$$\frac{L}{e} = \frac{p(v_1-v)}{e} = (C-c)(t_1-t)$$

da cui :

$$e = \frac{p(v_1-v)}{(C-c)(t_1-t)}$$

Ora pei gaz perfetti esistono le relazioni :

$$\frac{pv}{p_0v_0} = \frac{\alpha+t}{\alpha}$$

essendo : p, v la pressione ed il volume di una massa gazzosa alla temperatura t ; p_0, v_0 la pressione ed il volume della stessa massa alla temperatura 0° ; α il numero di gradi di cui lo zero assoluto è sotto lo zero ordinario cioè 273° ;

$$\frac{v_1}{v} = \frac{\alpha+t_1}{\alpha+t}$$

che lega i volumi e le temperature di una stessa massa gazzosa in due stati a pressione costante.

Si avrà quindi:

$$p(v_1 - v) = pv \left(\frac{v_1}{v} - 1 \right) = pv \left(\frac{\alpha + t_1}{\alpha + t} - 1 \right) = pv \frac{t_1 - t}{\alpha + t} = p_0 v_0 \frac{t_1 - t}{\alpha}$$

quindi:

$$e = \frac{p_0 v_0}{\alpha(C - c)}$$

e se pongasi: $\frac{C}{c} = \gamma$

$$e = \frac{p_0 v_0}{\alpha c (\gamma - 1)}$$

Questa formola ci fa vedere che almeno per uno stesso gaz l'equivalente dinamico non varia, poichè per uno stesso gaz le quantità p_0, v_0, α, c , si possono ritenere costanti; solo il valore di γ non è ancora determinato rigorosamente.

II. *Metodo.* Abbiassi una massa di gaz perfetto di 1 Kg. racchiuso in un circuito corrispondente ad un'area rettangolare, compresa fra i seguenti estremi di pressione temperatura e volume

$$v_1 \quad p_1 \quad t_1,$$

$$v_1 \quad p_2 \quad t_2,$$

$$v_2 \quad p_2 \quad t_3,$$

$$v_2 \quad p_1 \quad t_4.$$

È manifesto che facendo percorrere alla massa il circuito: dal 1° al 2° stato come pure dal 2° al 3° si ha produzione di lavoro meccanico; dal 3° al 4° si toglie

calore, e dal 4° all' iniziale si ha consumo di lavoro. La differenza L fra il lavoro prodotto ed il lavoro consumato dà il lavoro disponibile che è rappresentato da un rettangolo di lati $(p_2 - p_1)$ e $(v_2 - v_1)$ quindi:

$$L = (p_2 - p_1)(v_2 - v_1)$$

ossia :

$$L = p_1 v_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right)$$

Ora poichè il passaggio dalla pressione p_1 alla p_2 si è fatto a volume costante, ed il passaggio del volume v_1 al v_2 si è fatto a pressione costante, si ha:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\alpha + t_2}{\alpha + t_1} = \frac{\alpha + t_3}{\alpha + t_4}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\alpha + t_3}{\alpha + t_2} = \frac{\alpha + t_4}{\alpha + t_1}$$

Sostituendo ed osservando che :

$$p_1 v_1 = p_0 v_0 \frac{\alpha + t_1}{\alpha}$$

si trae :

$$L = p_0 v_0 \frac{(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)}{\alpha(\alpha + t_2)}$$

Questo valore diviso per M quantità di calore che deve sparire, fornirà l'equivalente meccanico e . Si tratta di trovare questo calore sparito : la quantità di calore somministrata nel 1° periodo è $c(t_2 - t_1)$ poichè il volume

non ha variato; quella somministrata nel 2° periodo è $C(t_3 - t_2)$ giacchè la pressione è costante; nel 3° poi si è sottratta una quantità di calore $c(t_3 - t_4)$, e nel 4° si è sottratta la quantità $C(t_4 - t_1)$, quindi:

$$M = c(t_2 - t_1) + C(t_3 - t_2) - c(t_3 - t_4) - C(t_4 - t_1) = \\ = (C - c)(t_1 + t_3 - t_2 - t_4)$$

Avvertendo che il passaggio della massa gassosa dal 1° al 2° stato, è a volume costante, come pure quello dal 3° al 4°, si ha:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\alpha + t_1}{\alpha + t_2} = \frac{\alpha + t_4}{\alpha + t_3}$$

da cui

$$(\alpha + t_1)(\alpha + t_3) = (\alpha + t_4)(\alpha + t_2)$$

ossia

$$\alpha(t_1 + t_3 - t_2 - t_4) = t_2 t_4 - t_1 t_3$$

Aggiungendo ai due membri dell'equazione la quantità $t_2(t_1 + t_3 - t_2 - t_4)$ si ha:

$$(\alpha + t_2)(t_1 + t_3 - t_2 - t_4) = t_2 t_4 - t_1 t_3 + t_2 t_1 + t_2 t_3 - t_2 t_2 - t_2 t_4 = \\ = (t_2 - t_1)(t_3 - t_2)$$

Ciò posto il valore di M si può scrivere:

$$M = \frac{(C - c)(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)}{\alpha + t_2}$$

Onde si vede che M non potrà mai essere zero o minore di zero, essendo $C > c$, $t_3 > t_2$, $t_2 > t_1$.

Esegueudo la divisione si avrà :

$$e = \frac{L}{M} = \frac{P_0 V_0}{\alpha(C-c)} = \frac{P_0 V_0}{\alpha c(\gamma-1)} \quad (A)$$

che è l' espressione già trovata, e ci dice che la quantità di calore scomparso si è realmente convertita in lavoro meccanico.

Se il circuito non fosse un rettangolo ma una curva chiusa, si può supporre scomposto in rettangoli piccolissimi, a cadauno de' quali, e quindi alla loro somma, si può applicare la dimostrazione precedente la quale in conseguenza è generale.

Accennerò infine al metodo proposto da Mayer che si riassume così: Si consideri un gaz contenuto in un cilindro e mantenuto da uno stantuffo mobile a cui vi è applicato la forza P, che rappresenta la pressione esercitata dal gaz sullo stantuffo; sia x la quantità di calore necessaria per alzare di t la temperatura del gaz sotto volume costante; x+y quella occorrente per alzare lo stesso gaz alla medesima temperatura sotto pressione costante; h lo spazio percorso dallo stantuffo nel dilatarsi del gaz, in questa seconda ipotesi, si avrà :

$$y \text{ calorie} = P \times h \text{ kg}$$

d' onde l' equivalente del calorico sarà

$$1 \text{ cal} = \frac{P \times h}{y} \text{ kg}$$

Applicando questa soluzione all' aria si trova per equivalente 420.

V.

Per ricavare il valore numerico di e dall' (A) bisogna sapere il valore di γ ossia $\frac{C}{c}$: Clement e Desormes prima, in seguito Gay—Lussac e Werther si accinsero a questa determinazione; i primi trovarono $\gamma=1,35$ ed i secondi $\gamma=1,421$ che si ritiene più esatto. Essi furono ricavati operando sull'aria atmosferica, che si può ritenere, con sufficiente approssimazione per la pratica, come gaz perfetto.

Applicando l' equazione (A) all' aria per la quale $C=0,2377$ $c=0,1672$ $\alpha=273^\circ$ $p_0=10333\text{kg}$ $v^0=0,mc781$

$$e = \frac{10333\text{kg} \times 0,mc781}{273^\circ \times 0,1672(1,471 - 1)} = 424\text{kg} \cdot \text{tri}$$

Se alquanto differenti sono i valori numerici dell' equivalente meccanico ottenuti dai diversi sperimentatori e dai diversi metodi, queste differenze non devono fare dubitare menomamente della stabilità di esso, ma devono attribuire alla natura complessa dei fenomeni, alla quasi impossibilità di una perfetta determinazione. È oggidi adottato come medio dei valori ottenuti colle diverse determinazioni analitiche e sperimentali 425 Kilogrammetri, che significa, sviluppare la quantità di calore necessario per innalzare di un grado un chilogramma d' acqua, e sollevare un peso di 425 Kilogrammi all' altezza di un metro, sono due effetti equivalenti.

Questo numero considerato se vuolsi come approssimazione è più che sufficiente per le utili applicazioni che di questa teoria si sogliono fare.

VI.

La determinazione dell' equivalenza del calore col lavoro meccanico diede luogo ad una teoria oggidì completa « *la Termodinamica* » che con Hirn si può definire « *una dottrina la quale indipendentemente da ogni ipotesi sulla natura del calore, ha saputo unire gli effetti statici e dinamici di esso ai principi più elementari della meccanica, ed a tradurli in formole matematiche, come sono tradotti tutti gli altri fenomeni d' equilibrio e di movimento* ». Anzi l' ipotesi riguardante la natura del calore che ormai è accettata da tutti i cultori della scienza, ben lungi d' esserle stata di fondamento fu da essa dedotta; cambiò le primitive opinioni sul modo d' essere dei fenomeni calorifici, ed una diversa e più sicura guida s' ebbe il campo delle scoperte pratiche, un nuovo e più luminoso orizzonte venne aperto all' attività umana.

Le basi della nuova teoria omai accettate sono le seguenti: 1. Per produrre un lavoro meccanico il calore deve passare da una sorgente calda ad un recipiente più freddo; 2. la produzione del lavoro corrisponde sempre ad una sparizione di calore e reciprocamente; 3. l' unità di calore corrisponde sempre ad una quantità determinata di lavoro, indipendentemente dalla natura del corpo che serve alla trasformazione del calore; 4. Il calore comunicato ad un corpo si suddivide nelle seguenti parti: una

parte si aggiunge al calore interno del corpo e vi rimane a stato di calore; un'altra produce un lavoro interno; una terza sviluppa il lavoro esterno; ed un'ultima imprime una forza viva.

La teoria si applica ai cambiamenti dei corpi nel passare dallo stato solido al liquido o dallo stato liquido al gassoso e viceversa, dà ragione delle diversità di comportarsi, rispetto al calore, dei gas così detti permanenti e dei vapori, della diversità che passa tra i vapori saturi ed i vapori soprarisaldati ecc.

Il calore dunque è movimento dell'ultimo elemento dei corpi e ad una data intensità, vi corrisponderà una determinata somma di forze vive; le traiettorie che percorrono le molecole sono elisse per le piccole velocità, per le grandi sono curve a branche infinite come l'iperbole e la parabola.

Secondo le grandezze della forza (calorico) e della forza attrattiva le molecole tenderanno ad avvicinarsi, o a tenersi ad una distanza media costante, o infine ad allontanarsi indefinitivamente, e si hanno i tre stati dei corpi. — Impiegando delle curve, Poncelet pel primo dimostrò come la variazione dell'impulsione spiega il cambiamento di stato d'un corpo. — Le molecole di un gas che si liquefà dovranno perdere la velocità di traslazione libera e ridursi alle orbite ristrette che caratterizzano i liquidi. Ma ciò non può farsi senza sottrarre alla massa la forza viva di proiezione, onde resta animata da semplice movimento rotatorio. — Così nel caso della condensazione del vapore dentro un liquido freddo, il moto che perde la sua massa si comunica al liquido che si riscalda, come si usa nelle officine industriali. Ed il corpo perduto la

velocità di traslazione e ristretto a vibrare in cinte anguste richiederà una quantità di forza viva diversa di prima perchè mostri egual incremento di oscillazione termica; in altri termini collo stato ha cambiato capacità calorifica. — Nel passaggio contrario del liquido allo stato gazzoso devonsi restituire alle molecole le velocità di proiezione, capaci di farle uscire dalla cerchia delle contigue. Quando in questo passaggio il corpo non riceva aumento estrinseco di calorico si vede il fenomeno che un corpo freddo cede calorico ad uno più caldo di lui e così si ottengono forti freddi artificiali. Infatti la porzione evaporante ha da prima una quantità di forza viva che cresce al momento della volatilizzazione a spese del liquido rimasto più freddo: e siccome la temperatura dipende dalla velocità delle molecole oscillanti e vibranti, per spiegar come una dotata di minor velocità possa comunicarne una maggiore ad un'altra, bisogna che la molecola impellente abbia maggior massa dell'urtata. Arrivata la massa ad essere gazzosa, un aumento di forza viva comunicata può darsi che solo aumenti il volume, o solo aumenti la temperatura, nel qual caso l'intensità dell'urto riescirà più che nel precedente per pari quantità di moto; ed ecco così a distinguere nei gaz le capacità calorifiche a volume costante, e a pressione costante. Si spiega pure come un gaz cambia temperatura quando compie lavoro; infatti in questo gli atomi del gaz incontrando lo stantuffo mobile devono per legge meccanica perdere tanta forza viva quanta ne comunicano allo stantuffo, e così si spiegherebbero tutti i fenomeni calorifici.

L'utilità pratica poi che si ritrasse ai nostri giorni da questa scoperta è senza dubbio l'aver essa fatto ri-

volgere le indagini dei meccanici a perfezionare la costituzione degli apparecchi che servono alla produzione del vapore, nell'intento di utilizzare come meglio si possa il calore dato dalla combustione, ed a regolare questa per modo che sia completa. Nelle migliori macchine caloriche esistenti venne constatato che soltanto una decima parte del calore speso è tramutato in potenza. Onde si vede quanto sia vantaggioso il far servire novellamente il medesimo fluido dopo avergli restituito il calore perduto; quindi l'economia considerevole di calore realizzata nelle macchine a vapore rigenerato e nelle macchine ad aria calda, in cui si fa deporre il calore, che rimane al gaz, uscendo dall'apparecchio, sopra tele metalliche che servono poi a riscaldare la nuova aria, la quale deve alla sua volta funzionare. In una macchina col vapore soprariscaldato, cioè a tensione minore di quella corrispondente alla sua temperatura, si ottiene che la parte di effetto disponibile sia un massimo: perchè poi l'effetto reale ottenuto in questa parte disponibile sia un massimo bisogna scansare qualunque diretta dispensa di vapore che non produce lavoro; fare in guisa che la differenza di pressione fra la caldaia ed il cilindro durante l'afflusso del vapore sia la minima; procurare che il vapore si trovi in ogni luogo a contatto di pezzi la cui temperatura differisca il meno possibile dalla sua.

Dal fin qui detto si può conchiudere, che quantunque i risultati della pratica in generale sieno tali da modificare sensibilmente le scoperte della scienza, tuttavia non deve mai quella andar disgiunta da questa, giacchè ciò che può parer oggi lusso di teoria, discende domani nel campo delle applicazioni.

Francesco Valentini

motore le indagini dei meccanici a partire da la parte
 tazione degli apparecchi che servono alla produzione del
 vapore, dell'intento di utilizzare come meglio si possa il
 calore dato dalla combustione, ed a regolare questa par-
 te che sia completa. Nelle migliori macchine cilindriche
 esistenti venne constatato che soltanto una decima parte
 del calore spento è tramutato in potenza. Onde si vede
 quanto sia vantaggioso il far servire utilmente il vapore
 residuo fluido dopo avergli restituito il calore perduto.
 quindi l'economia considerabile di calore restituita nella
 macchina a vapore rigenerato e nelle macchine ad aria
 calda, in cui si fa deporre il calore che rimane al gas,
 uscendo dall'apparecchio, sopra tale metallo che ser-
 vono poi a riscaldare la nuova aria, la quale deve alla
 sua volta funzionare in una macchina col vapore sopra
 riscaldato, cioè a tensione minore di quella corrispondente
 alla sua temperatura, si ottiene che la parte di effetto
 disponibile sia un massimo: perché poi l'effetto reale
 ottenuto in questa parte disponibile sia un massimo, di-
 cendo scarseo qualunque diretta dispone di vapore che
 non produce lavoro; fare in guisa che la differenza di
 pressione tra la caldaia ed il cilindro durante l'effluvio
 del vapore sia la minima; procurare che il vapore si
 trovi in ogni luogo a contatto di pezzi la cui tempera-
 tura differisca il meno possibile dalla sua; e per
 tal fin dare ai più conduttori, che quantun-
 que i risultati della pratica in generale sono tali da non
 dibare consigliando lo scoppio della camera, tuttavia
 non deve mai quella andar disgiunta da questa, giacché
 ciò che può parere oggi l'uso di teoria mancando domani
 nel campo delle applicazioni.

L'Autore

TESI LIBERE



COSTRUZIONE

Ponti obliqui — Sistema elicoidale: Formole fondamentali sulla flessione.

MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA

Teorema di Torricelli.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE

Determinazione dello spessore da assegnarsi alle caldaie cilindriche, affinchè non avvenga la rottura secondo sezioni meridiane o parallele.

GEOMETRIA PRATICA

Teodolite Inglese.

