

88
R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI IN TORINO

**CENNI SULLA TERMODINAMICA E SULLA SUA
APPLICAZIONE AI MOTORI ANIMATI**

DISSERTAZIONE

SEGUITA DALLE TESI LIBERE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DA

VITTORIO EMANUELE SISMONDO

DA DOMODOSSOLA

Luogotenente d'artiglieria

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

INGEGNERE LAUREATO

1869

TORINO
TIPOGRAFIA C. FAVALE E COMP.

A CHI MI AMA
LA GIOIA DI QUESTO GIORNO

CENNI

SULLA TERMODINAMICA

E SULLA SUA APPLICAZIONE AI MOTORI ANIMATI

Una teoria che in questi ultimi anni portò grandissima rivoluzione nelle dottrine della fisica, e che ogni dì più va erigendosi al grado di scienza autonoma, cui molte altre sono tributarie, è la Termodinamica, che si può definire: *la riduzione ad un sistema di principii delle leggi, secondo cui il calore si trasforma in lavoro, e reciprocamente, secondo cui il lavoro si trasforma in calore.*

È senza dubbio, oltrechè nuova, sorprendente l'idea del calore che si trasforma in lavoro meccanico per chi non si fermò mai a pensare che la locomotiva, mercè la quale sono al giorno d'oggi rese nulle le distanze, non deve il prodigioso *lavoro* che essa fa, se non al *calore* che si *consuma* per ridurre l'acqua della sua caldaia allo stato di vapore; e più sorprendente, e più nuovo ancora è il fatto che questa scienza, da tanti combattuta al suo nascere, ed ora già così estesa, ci possa condurre a giudicare del grado che un suono occupa nella gamma, e della sua velocità di propagazione dal riscaldamento e dal raffreddamento degli strati d'aria che le sue vibrazioni mettono in moto, comprimendoli e dilatandoli.

Queste due relazioni fra *calore* e *lavoro*, che ho citato fra le

molte altre, danno idea di quanto interesse possa destare la Termodinamica, e dall'immensità di fenomeni fisici, in cui si svolge calore, si può giudicare quanto immenso sia il numero delle applicazioni che essa può avere. È appunto di una di queste applicazioni che mi sono proposto di trattare brevemente, dopo d'aver premesso qualche cenno su alcune definizioni, e sul principio fondamentale della Teoria meccanica del calore.

Non avrei scelto un tema così abbisognevole di vasto ingegno e di profonde cognizioni, e così suscettibile di grande sviluppo, se non fossi persuaso che questo breve lavoro, più che come saggio, mi sarà utile come studio, ed ove non sperassi che chi lo leggerà aggiungerà a tal considerazione molta indulgenza, quando gli sarà noto che nulla ho scritto, senza prima consultare i creatori di questa nuova scienza, e principalmente Clausius ed Hirn. Con tale persuasione e con tale speranza incomincio il mio compito, che dividerò in due parti, la prima delle quali darà un cenno sulla Termodinamica, la seconda tratterà della sua applicazione ai motori animati.

I.

Più sopra dissi che la Termodinamica è l'assieme delle leggi, secondo cui il *calore* si trasforma in *lavoro*, o reciprocamente; bisognerà quindi che io qui brevemente definisca quali siano le unità di lavoro e di calore.

Il calore è una forza invisibile ed imponderabile, che perciò farà d'uopo misurare dai suoi effetti. Quando due corpi sono in presenza l'uno all'altro, ed il primo è più caldo del secondo, tosto si opera una trasmissione di calore dal primo al secondo, ed è a questa tendenza di tutti i corpi a trasmettersi vicendevolmente il calore, che si dà il nome di *temperatura*. Quando fra i due corpi non è più possibile trasmissione di calore, cioè quando essi hanno egual *energia termica*, dicesi che sono ad egual temperatura. La misura della temperatura, si desume da

uno degli effetti che il calore produce sui corpi, cioè dall'accrescimento di volume che il corpo, di cui si vuol misurare la temperatura, produce in un altro corpo determinato con cui viene messo a contatto; ora si adottò generalmente che questo secondo corpo sia il mercurio, quindi si assume come unità di misura quella capace di produrre in un determinato volume di mercurio la centesima parte dell'accrescimento che questo volume acquisterebbe, se passasse dalla temperatura del ghiaccio fondente a quella dell'ebollizione dell'acqua sotto la pressione barometrica di $0^m,76$. A questa unità di misura, si suol dare il nome di *grado centesimale del termometro centigrado a mercurio*.

Ciò premesso, dicesi *unità di calore* o *caloria* la quantità di calore che bisogna dare ad 1 kg. d'acqua a 0° per elevare la sua temperatura di 1° del termometro centigrado.

L'unità di lavoro è il *chilogrammetro*, cioè: il lavoro che si deve fare per mezzo di una forza qualunque, onde sollevare ad un metro d'altezza, ed in un minuto secondo di tempo un peso di un chilogrammo. Ricorderò ancora a questo riguardo una cosa essenziale, ed è la differenza che esiste fra forza e lavoro. *Forza* significa potenza motrice, principio d'azione; *Lavoro* significa consumo d'azione durante un certo tempo, tanto che si tratti di un fenomeno fisico, come di una funzione del pensiero.

Vediamo ora come la Termodinamica abbia assieme avvinte due unità di misura così diverse fra loro, e quella del calore, e quella del lavoro.

Se si riscalda un corpo, esso si dilata, cioè aumenta di volume; se lo si raffredda, esso si contrae, ossia diminuisce di volume. Dilatandosi, un corpo è capace di vincere resistenze esterne più o meno grandi, spesso colossali, che si cerchi di opporgli. È così che l'acqua da noi sottomessa ad un calore crescente in un vaso chiuso, finisce per rompere le pareti più robuste se noi non diamo sfogo al vapore che si produce, cioè se noi non permettiamo al volume di accrescersi. È così che l'acqua da noi fatta bollire in un vaso aperto, prende un volume 1700 volte maggiore vincendo di fatto continuamente la pressione atmosferica.

Da questo dilatarsi dei corpi sotto l'azione del calore, dall'idea delle resistenze che vincono in tale dilatazione, comincia a farsi

strada l'idea del lavoro in relazione col calore e ad apparire evidente l'affinità fra le due unità che ho più sopra definite.

Il principio generale secondo cui funzionano tutti i nostri motori a calore, è dei più chiari e dei più semplici. Un corpo qualunque, l'acqua, l'etere, il cloroformio, l'aria, i gaz in generale, vi è sottomesso ad alternative di dilatazione e di restringimento di volume. Durante la dilatazione il corpo spinge avanti uno stantuffo, che, per mezzo di organi meccanici, fornisce (tolte le perdite per attriti ed urti) il lavoro ricevuto: durante il periodo di restringimento lo stantuffo, diventato libero, ritorna alla sua posizione primitiva. Nelle macchine a vapore, per esempio, il vapore, che ha agito sopra una delle faccie dello stantuffo, va nel condensatore, dove è ricondotto al volume primitivo, e così lo stantuffo trova libera la via da quella parte, quando, giunto al termine della sua corsa, deve rifarla in senso inverso, spinto dal vapore che giunge ad esercitare l'azione espansiva sopra l'altra faccia.

Dilatazione e restringimento alternativi di un corpo; ecco la causa visibile del movimento di un motore termico qualunque: addizione e sottrazione alternative di calore; ecco la causa prima, ma invisibile di questo movimento e dei cambiamenti di volume del corpo.

Prima del 1842 tutti i fisici avrebbero detto che la quantità di calore speso nel focolare della locomotiva, era precisamente eguale a quella che si sottraeva, cioè a quella che si trovava nel condensatore, tenendo naturalmente conto delle perdite passive, ed in generale che il calore somministrato dalla sorgente più alta, o *focolare* era eguale a quello tolto dalla sorgente più bassa, o *refrigerante*; e ciò, perchè si credeva che il calore non potesse che disperdersi più o meno nei diversi corpi, in maniera di tenerli a temperature più o meno elevate, ma essere impossibile che cessasse di essere calore.

Al giorno d'oggi invece non vi ha più un fisico, che possa avere tale credenza.

Il medico Meyer di Heilbronn, appoggiandosi a considerazioni tratte la più parte dal regno degli esseri viventi, ha formulato pel primo una delle proposizioni essenziali della Termodinamica,

ed ecco il principio fondamentale di Meyer, su cui riposa tutta questa nuova scienza:

Ogniqualevolta l'azione del calore sopra un corpo produce un lavoro meccanico, sparisce una quantità di calore rigorosamente proporzionale al lavoro prodotto; reciprocamente, tutte le volte che un lavoro meccanico è consumato a modificare lo stato d'equilibrio interno di un corpo, si sviluppa una quantità di calore rigorosamente proporzionale al lavoro speso. Fra il lavoro così prodotto o speso, ed il calore così speso o prodotto, esiste un rapporto invariabile che è ciò che chiamasi *Equivalentente meccanico del calore*.

Questa proposizione, oltre al riguardarla come un risultato delle osservazioni, si può ritenere come corollario del principio delle forze vive; difatti si può la convertibilità vicendevole del calore e del lavoro derivare dal principio di permanenza ed indistruttibilità delle forze naturali, principio assiomatico che viene concisamente ed eloquentemente espresso dal latino: *nihil ex nihilo, nihil in nihilum*, e che torna a dire che in natura nulla può provenire dal nulla, e nulla rientrare nel nulla; quindi distrutto il lavoro, si produce calore, e viceversa, perdute calore, questo si trasforma in lavoro.

Se il principio sovra espresso si applica in meccanica, si ha il principio delle forze vive.

Ma, lasciando la meccanica, che non entra in questo tema, se non per quanto riguarda la sua applicazione al calore, parlerò dell'*Equivalentente meccanico* che ho più sopra accennato; dissi che esso era il rapporto fra il calore speso, ed il lavoro ottenuto; in altri termini esso si può ancora definire il lavoro sviluppato quando sparisce una caloria; reciprocamente, al calore che si sviluppa quando si consuma un chilogrammetro di lavoro, si stabilì di dare il nome di *Equivalentente termico del lavoro*.

Joule ed Hirn, dietro numerosi esperimenti, hanno potuto determinare il valore numerico dell'*Equivalentente meccanico del calore*, ed il numero medio ricavato dalle loro esperienze è 425; cosicchè quando sparisce una caloria, si sviluppano 425 chilogrammetri di lavoro. L'*Equivalentente termico del lavoro* sarà evi-

dentemente $\frac{1}{425}$, cioè quando si consuma un chilogrammetro di lavoro, si produce $\frac{1}{425}$ di caloria.

Mettendo il principio di Meyer in linguaggio algebrico, e chiamando;

A l'equivalente termico del lavoro,

Q una quantità disponibile di calore,

L una quantità disponibile di lavoro,

l, q quantità di lavoro corrispondente a Q , e di calore corrispondente ad L ,

si hanno le due eguaglianze:

$$l = \frac{Q}{A} ; \quad q = A L,$$

che esprimono che quando si ha una quantità di calore, per avere il lavoro meccanico corrispondente, basta dividerla per A ; inversamente, dato il lavoro meccanico, si otterrà il corrispondente calore che si sviluppa, moltiplicandolo per A .

È facile comprendere quali modificazioni importanti il principio di Meyer ha dovuto introdurre in tutte le scienze fisiche, e quali immensi progressi vi ha operato.

Numerosi fenomeni che sembravano non aver nulla di comune fra loro, e di cui lo studio pareva dover costituire molte scienze differenti, sono stati ridotti a semplici questioni di statica o di dinamica risolte completamente coll'analisi matematica. Alcuni esempi dimostreranno immediatamente la grandezza dei progressi raggiunti, o da raggiungersi ben presto con questa scienza.

La resistenza dei corpi solidi alla rottura, la coesione, è dovuta all'attrazione reciproca di tutte le parti materiali che costituiscono questi corpi; per allungare, per piegare una sbarra di ferro, bisogna vincere quest'attrazione per mezzo di uno sforzo, bisogna, in una parola, spendere del lavoro. Ma quando il calore dilata un corpo, si vede facilmente che vince altresì questa attrazione, cioè che opera anch'esso un lavoro; risulta da questo

enunciato così semplice, che quando sottoponiamo un corpo al calore, una parte del calorico che esso riceve è impiegata a superare le forze interne; questa parte non modifica per nulla la temperatura del corpo; un'altra parte invece serve ad accrescere esclusivamente questa temperatura. Se dunque noi perveniamo a riconoscere ciò che nel riscaldamento d'un corpo appartiene alla prima parte e ciò che appartiene alla seconda, noi potremo calcolare il lavoro interno fatto dal calore, e per conseguenza ancora l'intensità dell'attrazione degli atomi gli uni verso gli altri.

L'acqua, sottomessa ad una pressione costante, e che è arrivata al suo punto di ebollizione, non cangia più di temperatura qualunque siano le quantità di calore che le si forniscano. *Tutto* questo calore aggiunto è allora consumato a separare le molecole, e vincere la loro attrazione e la pressione esterna.

Quando l'acqua bolle all'aria libera, cioè sotto la pressione atmosferica ordinaria, 40 calorie solamente sono impiegate in lavoro esterno, e 496 lo sono a vincere l'attrazione interna.

L'antica fisica chiamava *calorico latente* il calorico così assorbito dai liquidi senza cangiamento di temperatura. In realtà non vi ha nulla qui di latente; in un chilogrammo di vapor d'acqua a 100° ed alla pressione di un'atmosfera non vi ha maggior calore che in un chilogrammo d'acqua a 100°, quantunque l'evaporazione di quest'acqua esiga l'enorme somma di 536 calorie; si sapeva da molto tempo che l'evaporazione dell'acqua determina il raffreddamento di questo liquido; la spiegazione corretta di tale fenomeno non è invece che una recente scoperta.

Tal è uno dei bei risultati, a cui conduce al dì d'oggi la teoria meccanica del calore.

Accennai più sopra ai progressi già fatti, ed a quelli da farsi presto col mezzo di questa scienza, e per dare un esempio di questi ultimi, senza mettermi troppo fuori della strada che mi sono tracciata, dirò solo che è importante il fatto di alcuni solerti sperimentatori che hanno già potuto, col mezzo dello studio di fenomeni calorifici, definire per certi corpi ciò che appartiene alla coesione, e ciò che appartiene all'affinità chimica, e per conseguenza ridurre in numeri, esprimere in chilogrammi l'intensità della forza che unisce due elementi chimici in un composto omogeneo.

Questo fatto fa prevedere che fra non molto la chimica, la quale sembrava una scienza di fatti e di memoria, sarà accessibile all'analisi matematica.

Qui sarebbero finiti i pochi cenni che volevo dare sulla Termodinamica, ma a questo punto mi pare di non poterli chiudere senza dire una parola dei primi passi che si fanno studiando questa scienza, i quali, oltre al dare un'idea del suo andamento, serviranno, colla loro semplicità ed eleganza, a fare vieppiù l'elogio di chi li ha tracciati.

Una delle prime questioni che si presentano, è quella di trovare l'espressione analitica del lavoro esterno che un corpo fa nel dilatarsi per l'azione del calore.

Siano :

p la pressione esterna che incombe per ogni unità di superficie di un solido ; (la pressione essendo l'atmosferica , sarà uniformemente distribuita in tutti i sensi).

s la intiera superficie esterna del corpo.

v il suo volume.

E supponiamo che questi tre valori debbano sussistere in un punto qualunque del corpo che si dilata, cioè siano tre variabili.

Se si immagina s divisa in elementi $d s$, è manifesto che la pressione esercitata su uno di questi elementi sarà $p d s$. Ora, se si suppone che il volume v aumenti di una quantità infinitesima, lo stesso accadrà della superficie s , e si comprende che tutti gli elementi $d s$ dovranno spostarsi dalla loro posizione primitiva. Sia $d \rho$ la quantità di cui resta accresciuta la normale in un punto qualunque dell'elemento per tale dilatazione ; il lavoro resistente fatto durante essa dalla pressione esterna, sarà :

$$p d s d \rho ;$$

per avere il lavoro corrispondente a tutta la superficie, ed al volume $v + d v$, non si avrà che ad integrare fra i limiti convenienti, ed osservando che p è costante, si otterrà :

$$p \int d s d \rho$$

Se v_0 era il volume primitivo, e si vuole il lavoro corrispondente ad una dilatazione che abbia portato tale volume ad essere v_1 , si deve integrare un'altra volta fra i limiti v_1, v_0 ; quindi si dirà che il lavoro prodotto nel passaggio del corpo dal volume v_0 al volume v_1 , sarà :

$$\int_{v_0}^{v_1} p \int ds d\rho.$$

La quantità $ds d\rho$ sotto l'integrale, è il volume di un prisma retto, che ha per base ds , e per altezza $d\rho$, ossia è il volume della dilatazione di un elemento, quindi si avrà :

$$\int ds d\rho = dv,$$

essendo dv l'aumento di volume di tutto il solido nella dilatazione infinitesima.

Chiamando L il lavoro esterno fatto dal solido nel dilatarsi, esso sarà dato dall'espressione

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

Per integrare, convien sostituire l'espressione di p in funzione di v , perchè p è costante per unità di superficie, ma, col variare del volume, varia anch'esso. L'espressione trovata dice che il lavoro esterno di cui si tratta, dipende solo dalla legge secondo cui varia p , e dal volume iniziale e finale del corpo, ed è indipendente dalla sua forma.

Se si immagina un sistema di assi coordinati, e si misurano parallelamente all'asse delle xx i successivi aumenti di volume, e parallelamente a quello delle yy i corrispondenti valori delle pressioni, si potrà costruire un arco di curva che sia la rappresentazione dell'espressione

$$p = f(v),$$

ed abbassando le ordinate estreme, le ascisse corrispondenti saranno v_0 e v_1 ; da ciò si deduce che se $p = f(v)$ è la legge, secondo cui varia la pressione col variare del volume, l'integrale

$$\int_{v_0}^{v_1} p \, d v \text{ rappresenterà l'area compresa fra l'arco di curva segnato,}$$

le due ordinate estreme e la differenza fra le ascisse, quindi :

Il lavoro meccanico fatto da un corpo che si dilati per l'azione del calore, è rappresentato dall'area della curva delle pressioni, cioè della curva che in assi ortogonali ha per equazione $p = f(v)$.

Tal curva dicesi *linea termica*, e quando essa è nota, si devono riguardare come noti i diversi stati di pressione, volume e temperatura per cui il corpo passa mentre si dilata, perchè è impossibile il concepire che uno stesso peso di un corpo possa, per esempio, avere due temperature diverse, avendo il medesimo volume e la stessa pressione, oppure due diversi volumi avendo egual pressione ed egual temperatura.

Col sistema di coordinate adottato si possono rappresentare per mezzo di due punti i due stati diversi di un corpo; ora infinite essendo le linee che possono passare per due punti, infinite saranno le linee termiche, secondo cui si potrà far passare il corpo dall'uno all'altro stato.

Quando i due punti saranno ad egual distanza dall'asse dei volumi, si potrà far dilatare il corpo a pressione costante, e la linea termica sarà una retta parallela all'asse dei volumi; in tal caso essa prende il nome di *linea a piena pressione*.

Se i due punti estremi sono equidistanti dall'asse delle pressioni, allora il corpo si potrà far passare dallo stato iniziale allo stato finale senza che varii il volume e crescendo solo la pressione, e la linea termica allora è una retta parallela all'asse delle pressioni che prende il nome di *linea a volume costante*.

Può avvenire che i due stati estremi corrispondano alla stessa temperatura: allora, se durante la dilatazione si tiene sempre il corpo a contatto con una sorgente di calore che mantenga in esso la temperatura costante, si fa l'espansione a temperatura costante, e la linea delle pressioni che ne risulta prende il nome di *isotermica*.

Si può ancora, durante il suo passaggio dall'uno all'altro stato, mantenere il corpo isolato da tutti gli altri corpi circondandolo di materie coibenti, che cioè non conducano il calore. Allora la dilatazione si farà senza che il corpo possa prendere o versare calore esternamente, ed in questo caso la linea delle pressioni dicesi *adiabatica*, o di nessuna trasmissione esterna di calore. Queste linee si trovano nelle macchine a vapore in cui il cilindro è circondato da una camicia di aria stagnante, di legno, di ovatta o d'altro; allora il vapore si espande senza trasmissione esterna di calore.

Le linee termiche, lungo le quali un corpo dilatandosi, tutto il calore somministratogli si trasforma in lavoro esterno, diconsi linee *isodinamiche*.

Le specialità di curve d'espansione che ho fin qui nominato, sono quelle di cui si serve generalmente la Termodinamica, e primo ad usufruirne in modo splendido, fu Carnot, quando inventò il suo *ciclo chiuso* (1).

Dati così sulla Termodinamica pochi cenni, passo a dire alcun che sulla sua applicazione ai motori animati, per completare lo svolgimento della tesi, il cui enunciato ho scritto in capo a queste pagine.

II.

Il corpo di tutti gli esseri viventi, vegetali, animali, a sangue freddo, od a sangue caldo, costituisce una sorgente di calore o focolare continuo; parrebbe da ciò che in tali corpi dovesse ac-

(1) Dicesi *evoluzione* la serie dei successivi stati che si possono far prendere ad un corpo, ed è *diretta* quando si spende calore e si raccoglie lavoro, *inversa* quando si spende lavoro e si ha calore. Carnot, per primo, concepì di combinare l'evoluzione diretta ed inversa insieme, facendo ritornare il corpo allo stato primitivo: questa evoluzione che gode di proprietà importantissime, e che fece fare alla scienza rapidissimi progressi, fu chiamata col nome di *ciclo chiuso* dal suo autore, ed in omaggio a lui, i successori la dissero anche *ciclo di Carnot*.

crescersi indefinitamente la temperatura e ciò avverrebbe, se a mantenerla costante non venissero le perdite esterne di calore, che sono eguali alle quantità di calore prodotte internamente, e sono dall'organismo stesso regolate. Per tal modo la temperatura di ciascun essere resta costante ad onta delle variazioni di temperatura dell'ambiente in cui esso vive.

Si discusse lungamente sull'origine del calore cosiddetto *vitale*: Aristotile pensava che questo calore fosse creato dalla potenza vitale stessa, e che l'organo della respirazione negli animali superiori, servisse a rinfrescare continuamente il corpo e ad impedirgli di consumarsi per l'eccesso di calore prodotto.

La teoria meccanica del calore penetra in questa questione, prima sotto forma critica, poscia sotto forma affermativa.

Citai più sopra l'assioma su cui è basata questa nuova scienza: *Nihil ex nihilo, nihil in nihilum*; la vita, qualunque sia la sua natura, non può creare col nulla nessuno degli elementi ponderabili od imponderabili che costituiscono il corpo dell'essere vivente; essa non può che utilizzare gli elementi che trova nel mondo fisico. Il calore continuamente prodotto nell'organismo degli esseri viventi, ed in gran quantità negli animali a sangue caldo, non può essere dovuto che a nuove combinazioni che contraggono nell'organismo stesso gli elementi materiali che vi sono di continuo introdotti.

Molti fisiologi, senza adottare per intero le idee di Aristotile, ne avevano adottata cionondimeno, e modificata una parte. « I fregamenti del sangue nelle vene e nelle arterie, i fregamenti dei muscoli devono, dicevano essi, produrre calore, e per conseguenza aggiungerne a quello sviluppato dalle azioni chimiche ». E quanto alla prima parte dell'asserzione, essi hanno perfettamente ragione; ma la teoria meccanica del calore viene a confutare radicalmente la conclusione finale. Questi sfregamenti, queste azioni meccaniche di tutti i generi, producono del calore, dice questa teoria; ma i movimenti che li generano, quelli del sangue, quelli dei muscoli, ecc., costano essi stessi calore, ed in quantità rigorosamente eguali; la somma totale del calore prodotto nell'organismo non è adunque modificata.

Fra le reazioni chimiche capaci di sviluppare calore nell'essere

vivente, la più considerevole, quella che predomina tutte le altre, è quella che risulta dall'assorbimento dell'ossigeno dell'aria, e dalla sua combinazione cogli elementi combustibili forniti dagli alimenti. La respirazione, in una parola, è la causa principale, se non unica della produzione del calore vitale. Ciò è stato messo fuori di dubbio, prima dalle esperienze di Lavoisier e di Laplace, poi da quelle di Dulong e di Regnault sopra animali di diversa specie, e finalmente da quelle di Hirn sull'uomo.

Nelle esperienze dei quattro primi fisici e chimici, l'animale era chiuso in un calorimetro, od apparecchio proprio a misurare la quantità di calore totale prodotta in un tempo dato; gli si somministrava per mezzo di un tubo l'aria necessaria alla respirazione e si analizzava l'aria che usciva dall'apparecchio. Dal peso dell'acido carbonico trovato nell'aria sortente, si calcolava la quantità di carbonio bruciato; il peso dell'ossigeno combinato in quest'acido carbonico era sottratto da quello che mancava all'aria e questa differenza permetteva di calcolare la quantità d'idrogeno bruciato; facendo la somma delle quantità di calore che rappresentavano questi due elementi bruciati, si aveva la quantità di calore totale disponibile nell'organismo. Questa quantità, nelle esperienze di Dulong e di Regnault, si trovò talmente approssimata a quella che indicava direttamente il calorimetro, che non è più permesso dubbio alcuno sulla funzione fondamentale della respirazione.

Le esperienze di Hirn sull'uomo mettono in rilievo un fatto rimarchevole di più, ed è che da un individuo all'altro, il rapporto degli elementi combustibili che si combinano coll'ossigeno, è lo stesso. Risulta da ciò, che il calore sviluppato in ciascun istante nel nostro corpo, è sempre rigorosamente proporzionale al peso d'ossigeno assorbito in un tempo dato. Hirn difatti sottomise all'esperienza degli individui dei due sessi, di differenti età, di diversi temperamenti; uno fra gli altri era attaccato da un forte catarro ai polmoni. La quantità d'ossigeno assorbita in un'ora, e per conseguenza la quantità di calore sviluppata nello stesso tempo, variavano considerevolmente da una persona all'altra; ma in tutti, ciascun grammo d'ossigeno assorbito, produceva molto approssimativamente cinque calorie.

Tutte queste esperienze relative alla produzione del calore vitale, si riferiscono esclusivamente all'essere vivente considerato allo stato di riposo.

Muoversi, elevare il peso del proprio corpo, trascinare, trasportare, elevare un peso addizionale, è fornire ciò che si è chiamato lavoro meccanico. Questa sola definizione fa comprendere come gli animali costituiscano di fatto dei veri motori. Se si esamina più minutamente la loro struttura interna, questa analogia si fa più evidente; si ha difatti nelle ossa lo scheletro di leve che si trova in un motore qualunque; i legami delle ossa, cioè i muscoli, corpi di una natura speciale, e suscettibili di cambiar forma, di raccorciarsi, di allungarsi, possono rappresentare il vapore nelle macchine a vapore e l'acqua nei motori idraulici. I muscoli si contraggono, o cangiano di forma sotto l'azione di una *forza* che si è creduto per lungo tempo essere di una natura particolare, e che di fatto non è che l'*elettricità* diretta dai conduttori nervosi, come lo posero fuori di dubbio le belle ricerche di Dubois-Reymond. Vi è, come si vede, più che dell'analogia, vi è rassomiglianza fra i motori viventi ed i motori inanimati quanto al principio di costruzione: qui però si arresta la similitudine, Oltre la *materia ponderabile* e le *forze* che costituiscono tutti i corpi possibili, e al di sopra delle forze, si trova nell'essere vivente una *potenza attiva*, capace di spontaneità, racchiudente nella sua natura tutta la virtualità dell'essere capace di dire « voglio, non voglio » ed ai cui ordini ubbidisce la forza motrice.

Ma questa potenza non può creare lavoro più che essa possa creare calore od elettricità. Ogniqualvolta adunque il motore animato produce o riceve lavoro esterno, bisogna di necessità che si operi nel suo interno un disperdimento od una produzione equivalente della *forza elettrica* che è in lui il principio motore; ma siccome i fenomeni elettrici sono totalmente interni (è poco tempo che essi furono constatati), e siccome le sole manifestazioni esterne di *forza* sono fenomeni calorifici, così bisognerà necessariamente che a ciascun lavoro meccanico eseguito o consumato dall'essere vivente, si manifesti al suo esterno una mancanza od un acquisto di calore. Tal è l'affermazione capitale formolata dalla Teoria meccanica del calore relativamente ad uno dei più complicati fe-

nomeni fisiologici, e quest'affermazione si trova meravigliosamente verificata dall'esperienza diretta.

Quando un uomo sale per una scala, o quando si eleva sopra una montagna, i muscoli attivi contraendosi raddrizzano le gambe alternativamente piegate a ciascun passo, ed elevano così successivamente il centro di gravità del corpo, vincendo la resistenza che oppone il suo peso. Vi ha dunque consumo di azione, il cui risultato definitivo, è quello di elevare ad una certa altezza il peso del nostro corpo, cioè di produrre un lavoro esterno positivo. Quando al contrario discendiamo da una scala o da una montagna, i muscoli attivi prima contratti, si allungano sotto uno sforzo del nostro peso corporale e lasciano alternativamente piegarsi le gambe: il risultato definitivo qui è che un dato peso discende da una data altezza vincendo la resistenza muscolare: vi ha, in una parola, lavoro esterno consumato, speso, e si deve avere per conseguenza beneficio di forza motrice nel nostro corpo. Quando noi camminiamo sopra un piano orizzontale, il centro di gravità del corpo si eleva e si abbassa alternativamente di altezze eguali; vi ha dunque alternativamente produzione e consumo di lavoro esterno, e vi deve essere una spesa, ed una produzione alternativa di forza motrice, che si equilibrano, e danno zero per risultato finale.

Per il fisico adunque, solamente la marcia in salita costituisce un lavoro esterno reale; la marcia in discesa è al contrario un beneficio di lavoro pel nostro corpo; la marcia orizzontale non costituisce nessun lavoro definitivo: ai suoi occhi la marcia ascensionale deve costar calore all'organismo, la marcia discendente deve produrne, e la marcia orizzontale non deve modificare per nulla la quantità di calore rappresentata dalla respirazione.

Supponiamo che un uomo del peso di 75 kg. si elevi di 400 metri all'ora; supponiamo che per ogni ora consumi colla respirazione in questa marcia ascensionale 100 grammi di ossigeno. Se fosse in riposo, questi 100 grammi produrrebbero 5 volte 100 unità di calore, cioè 500 calorie; ma la misura diretta del calore non dà che 430 calorie; ne mancano adunque 70; è ciò che è costato il lavoro di 30,000 chilogrammetri prodotto. Supponiamo che quest'uomo discenda invece di 400 metri per ora, ed as-

sorba sempre 100 grammi di ossigeno; invece di 500 calorie, ne troveremo questa volta 570; le 70 calorie di più sono quelle *prodotte* dal lavoro di 30,000 chilogrammetri *non speso*, ma realmente *raccolto* dal suo organismo.

Di queste esperienze fatte da Hirn, e dei mezzi che adoperò, sarebbe qui il luogo di dare una descrizione, ma ciò farebbe oltrepassare a questo lavoro i modesti limiti che gli convengono, ond'è che mi basterà accennare di passaggio come il calorimetro di quel solerte sperimentatore consisteva in una cassa ermeticamente chiusa dentro cui metteva gli individui sui quali faceva le esperienze: erano essi obbligati a respirare ed esalare l'aria dai polmoni attraverso ad un tubo di caoutchouc, e durante un'ora e mezza dovevano senza riposo salire sopra una ruota che girava, e di cui i gradini fuggivano continuamente di sotto ai loro piedi.

Viene naturalmente il domandarsi perchè, se si consuma del calore nel nostro organismo, quando somministriamo lavoro esterno, quando ci arrampichiamo per una montagna, questa marcia ascensionale, ben lungi dal rinfrescarci, come parrebbe dover fare, ci conduce al contrario rapidamente ad uno stato di calore qualche volta insopportabile.

A questa riflessione critica la natura stessa risponde con una saggia previdenza.

Il nostro organismo è fornito di un apparecchio telegrafico ammirevole che mette costantemente in relazione col centro e fra di loro le parti più lontane le une dalle altre. Sotto il punto di vista dinamico il sistema nervoso fa le funzioni di un regolatore perfetto per cui mezzo si provvede ai bisogni di tutti i *pezzi* del motore; all'istante stesso in cui cominciamo a salire, si fa un appello energico di soccorso per parte dei muscoli in attività all'organo incaricato della calorificazione; la respirazione e la circolazione si accelerano; il volume d'aria inspirato, si accresce: la potenza assorbente dei polmoni si eleva essa stessa, molte volte considerevolmente.

Risulta da ciò, che la quantità di ossigeno assorbito, e per conseguenza la quantità di calore prodotto, aumentano anche considerevolmente. Hirn, quando sottomise se stesso all'esperienza

marciando nel suo calorimetro in modo da elevarsi di 450 metri per ora, constatò che i battiti del suo cuore crebbero da 80 a 140: il numero delle aspirazioni passava da 18 a 30 per minuto: il volume d'aria aspirato ed espirato in ogni ora, si elevava da 700 a 2300 litri, e da questo accrescimento generale di attività nella respirazione e nella circolazione, risultava che egli non consumava più 30 grammi come allo stato di riposo, ma 132 grammi di ossigeno per ogni ora, cioè quattro volte e mezza di più. Malgrado il consumo di una parte del calorico fatto dal lavoro, ne sussiste adunque ancora un eccesso, soventi considerevolissimo, e l'individuo, invece di raffreddarsi, si riscalda e guadagna molto più calore che allo stato di riposo.

Nell'uomo che non ha vizio organico all'apparecchio della respirazione e della circolazione, ed in cui si fa bene l'assimilazione del sangue, il rendimento del motore si può migliorare d'assai con un esercizio graduato e fatto con intelligenza. La ragione di questo perfezionamento che è ciò che tutti chiamano volgarmente *l'abitudine della marcia*, è semplicissima. — L'uomo che eseguisce con intelligenza un lavoro meccanico qualunque, non mette in attività che i muscoli soli che servono a produrre questo lavoro: quegli al contrario che è principiante o malaccorto, mette in attività e contrae oltre misura a sua insaputa degli altri muscoli. L'appello di soccorso che si fa all'apparecchio respiratore e circolatore per mezzo del sistema nervoso, parte nel primo individuo dai *pezzi* solo del motore che devono produrre il lavoro; nel secondo invece questo appello parte da tutti i punti, ed emana da *pezzi* del motore che non devono per nulla cooperare al lavoro da fornirsi; l'eccitamento esagerato è adunque perduto, e si sviluppa una quantità grandissima di calore inutile all'azione dinamica. Questo difetto così grave e così funesto, scompare mediante l'abitudine della marcia, che non è altro che uno studio istintivo, e scompare vieppiù con uno studio ragionato, e diretto, per esempio nei paesi di montagna, da una guida sperimentata. Trova ancora qui la sua ragione di esistere il passo ginnastico che è così proficuo allo sviluppo ed al rinforzarsi dei muscoli destinati al moto, e che esercita l'uomo a resistere a lunghe corse senza troppo riscaldarsi.

L'uccello è fra tutti i motori animati quello che fa maggior lavoro reale, imperciocchè anche quando discende negli spazii bisogna che prema colle ali la colonna d'aria sottostante; maggior calore si sviluppa quindi nel suo organismo, donde il motivo per cui la Provvidenza lo dotò di organi respiratori immensamente più attivi, e di un abito che impedisca il disperdimento del calore, elemento questo, di cui, per il lavoro che deve fare, non ha mai di troppo.

Dai pochi cenni che ho dati sui motori viventi, appare evidente come la Termodinamica anche a loro riguardo possa venire in soccorso, risolvendo molte questioni, specialmente fisiologiche, prima astruse, e forse inaccessibili: da questa sola applicazione si può arguire come questa scienza sappia, e saprà introdursi nei molti rami di scibile che presenta il mondo fisico.

E qui porrò fine con alcune considerazioni comparative fra i motori animati ed inanimati.

In questi ultimi tempi (prima però che si parlasse di Termodinamica) molti chimici vollero fare un parallelo fra i motori termici ed i motori viventi; calcolavano essi il lavoro prodotto da un uomo che sale per esempio sul Monte Bianco, ed il peso del carbonio che brucia in esso durante l'ascensione; trovavano che questa quantità era ben minore che quella che consumerbbe la miglior pompa a vapore per lo stesso lavoro. Essi però andavano errati perchè non consideravano che l'uomo in marcia su per una salita consuma più ossigeno, di quello che si trova allo stato di riposo, e per conseguenza essi ritenevano un numero troppo piccolo per rappresentare il peso del carbonio bruciato. Nelle esperienze di Hirn, l'uomo che diede i migliori risultati dinamici, produceva ogni ora un lavoro di 33000 chilogrammetri: consumava nello stesso tempo 132 grammi di ossigeno, ciò che rappresenta 660 calorie; queste 660 calorie, a loro volta rappresentano 280000 chilogrammetri di lavoro in una macchina perfetta. Il rapporto di questo lavoro disponibile al lavoro prodotto è come cento a dodici; il motore umano rendeva quindi solamente il dodici per cento. Le nostre macchine a vapore d'oggi rendono altrettanto: l'opera adunque dell'uomo, come si vede, quanto al rendimento regge al paragone col mo-

tore vivente: ma ciò che pone quest'ultimo incomparabilmente al disopra di tutte le nostre macchine, si è che la potenza dinamica vi è sviluppata da un apparecchio, di cui il peso ed il volume sono incredibilmente ridotti, se li paragoniamo a quelli dei nostri motori più perfetti. Una macchina a vapore che fornisca il lavoro di un cavallo di forza media, pesa almeno dieci volte più di esso. Ma che cos'è ancora il quadrupede più potente, se, sotto questo punto di vista, lo paragoniamo a certi uccelli? La macchina a vapore delicata che dovesse produrre il lavoro per esempio di una rondine, peserebbe quasi cento volte più che essa!

Da questa considerazione ci viene chiaramente spiegato perchè noi siamo tristemente ritenuti a terra da ciò che Michelet nel suo ammirevole libro *L'Oiseau* chiama così poeticamente e così trivialmente ad un tempo *la fatalité du ventre*. — Questa considerazione ci spiega perchè in questa vita non possiamo volare che sognando!

VITTORIO EMANUELE SISMONDO.

TESI LIBERE



MACCHINE A VAPORE E FERROVIE.

Apparecchi d'osservazione delle caldaie a vapore.

MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA.

Freno dinamometrico di Prony.

CONSTRUZIONI CIVILI, IDRAULICHE E STRADALI.

Equazione dei momenti inflettenti sui tre appoggi successivi di un solido orizzontalmente disposto e caricato di pesi.

GEOMETRIA PRATICA.

Bussola Topografica.

