

INTRODUZIONE ALLA EDIZIONE CRITICA DEL "SAGGIO DI  
DINAMICA" DI G.W. LEIBNIZ

1. Introduzione

Questo scritto vuole presentare per la prima volta in italiano un'opera di Leibniz (=L.), una delle più brevi, l'*Essay de dynamique* del 1692.<sup>1)</sup>

Il nostro scopo non è quello di comprendere il legame tra la sua metafisica e la sua fisica (legame che certamente lascia ampia indipendenza a quest'ultima); tanto meno è quello di ricostruire il dibattito attorno a L. e al quale L. partecipò da protagonista; ma è quello di vedere la portata teorica di questa opera, cioè comprenderne bene i contenuti di fisica teorica; uno scopo che finora gli studiosi non hanno mai perseguito con fedeltà ai testi. In genere gli studiosi sono partiti dalle idee metafisiche di L. per illustrare la sua teoria fisica; il migliore è stato M. Guérout, il più aggiornato è F. Duchesneau.<sup>2)</sup> Oppure hanno estratto i brani più facilmente comprensibili delle sue opere. Il migliore in questo senso è R. Dugas.<sup>3)</sup>

Studi più precisi sui contenuti fisici delle opere di L. sono stati compiuti non molto tempo fa. Essi hanno dovuto affrontare il famoso problema storico del dibattito sulla *vis viva*, dibattito che si è prolungato per quasi un secolo, in una maniera poco chiara; è stato proprio L. a iniziarlo contro i cartesiani. Ci sono due studi che dipanano i temi trattati, con una interpretazione dei testi di L., senza però seguirli dettagliatamente.<sup>4)</sup> E' curioso che il primo tipo di commentatori non ha tenuto conto del secondo tipo di commentatori, e viceversa.

Gli scritti di L. sulla meccanica sono tecnicamente facili. Ma c'è una grande differenza tra i primi scritti, informali e metafisici, e quelli ultimi, tra i quali quello in esame. Perciò abbiamo scelto questo scritto ad alto contenuto teorico (un ragionare per simmetrie!), la cui lettura però non richiede erudizione; ci rivolgiamo ad una persona che è in possesso di una minima cultura di Fisica, semplicemente quella della scuola superiore.

L'*Essay* è stato tradotto dal francese e qui sarà commentato per darne il contenuto teorico. La meccanica di L. è poco conosciuta, ma secondo noi ingiustamente. Essa ad es., è basata sul concetto di energia e non sui concetti di spazio, tempo e forza newtoniani, che i commentatori si ostinano a cercarvi invano;<sup>5)</sup> e pertanto ci appare come un valido inizio di una teoria meccanica alternativa a quella di Newton: essa è anticipatrice di quella di Mach e, in modo ancor più preciso, di quella di L. Carnot.<sup>6)</sup>

2. Presentazione dell'opera e della traduzione

L. è vissuto tra il 1646 e il 1716. La produzione di L. sulla meccanica comprende numerosi scritti brevi, in lingua tedesca, latina, francese; più un'opera più ampia, *Dynamica de potentia et Legibus Naturae corporeae*, che è rimasta inedita, così come molti altri scritti.

L'*Essay* è stato scritto all'età di 46 anni e sembra iniziare la maturità di L. in fisica teorica, quando la sua produzione sulla meccanica dimostra una maggiore coerenza. Ormai egli aveva appreso la lezione di Huygens, suo maestro di fisica a Parigi e tentava una sua personale teoria in opposizione a quella di Newton. Quest'ultima era da lui giudicata metafisica per la presenza sia del concetto di forza-causa, sia di una inesplicata forza gravitazionale, che a lui richiama le famose "cause occulte" di Aristotele. E proponeva quindi una "riforma della dinamica", che nelle sue intenzioni doveva essere una vera e propria rifondazione.

L'*Essay* è stato letto davanti alla Accademia delle Scienze di Parigi nel 1692, ma è rimasto inedito fino al 1859. Si tratta di un lavoro breve, di poco più di dieci pagine. E' scritto in francese, la lingua scientifica dell'epoca, che L. aveva avuto modo di conoscere bene durante il suo soggiorno in Francia. Del testo ci sono due manoscritti, che non sono sempre precisi. Inoltre è evidente che L. talvolta commette qualche errore di distrazione, e solo una volta corregge l'errore.

E' da notare che la attività in fisica teorica era solo una delle molteplici attività di L., oltre a quella di diplomatico di professione. Bisogna inoltre sapere

---

<sup>1</sup> Gruppo di Storia della Fisica - Dipart. di Scienze Fisiche - Università "Federico II" - Napoli

che L. non aveva una classificazione dei numerosissimi scritti che aveva accumulato e che tuttora sono da finire di esplorare; perciò spesso L. non si curava di quanto avesse già scritto sull'argomento (così come avveniva quando, appena svegliato, scriveva a lungo, come lui stesso dice, per buttar giù quelle idee che gli erano venute in mente nel dormiveglia). Tutto ciò giustifica la sua imprecisione nello scrivere opere rimaste inedite.

Perciò nel testo ci siamo sentiti autorizzati sia a limare le espressioni della traduzione letterale in modo da renderle più comprensibili in italiano; sia a reintegrarne il più possibile il senso fisico, in modo da renderlo chiaro al lettore moderno. Ad es., abbiamo tradotto il termine "forza" con "energia (potenziale, cinetica)", quando l'abbiamo potuto fare senza tradire il senso dato da L. (Non l'abbiamo fatto qualche volta nelle "Osservazioni" finali, là dove L. usa quella parola in maniera ambigua, forse volutamente, per meglio polemizzare con i Cartesiani). Inoltre il frasario certamente non è moderno e talvolta è complesso. Perciò abbiamo introdotto delle piccole aggiunte, poste tra parentesi quadre, per facilitare la lettura o l'interpretazione del testo; più ampie note a piè pagina.

### **3. Le difficoltà dell'opera: il primo ragionare per simmetrie in fisica teorica**

I ragionamenti condotti da L. non sono tecnicamente difficili: egli prende come esempi pochi semplici fenomeni fisici, ripetuti magari con qualche piccolo cambiamento. Il che è tipico di un fondatore di teorie il quale vuole ragionare sui fatti basilari, più che di un teorico che vuole semplificare un cumulo di fatti disparati. Le poche dimostrazioni si basano o su considerazioni geometriche o su alcuni calcoli elementari, senza mai utilizzare l'analisi infinitesimale. Cioè egli, fondatore di questo nuovo potentissimo strumento, lo ha voluto escludere dai fondamenti della teoria fisica.<sup>7)</sup> L. dice che ha scritto in questo modo semplice al fine di rendere "il discorso più intelligibile a quelli meno abituati alle frasi dei geometri". Quindi il testo è tecnicamente elementare.

Però il lettore moderno, senza una apposita introduzione, non ne comprenderebbe facilmente il significato. E' al livello concettuale che stanno le difficoltà. Ma non nella sua metafisica. Chi ha il pregiudizio di un L. metafisico, rimarrà sorpreso dall'inizio dell'*Essay*; L. dichiara che lui non vuole seguire "le considerazioni metafisiche della causa e dell'effetto [che sono]...concetti *a priori*"; quindi niente forza-causa, né  $f=ma$ , i concetti che invece sono centrali nella meccanica di Newton; e che rappresentano per L. l'ingerenza indebita della metafisica nella fisica teorica.

Le difficoltà di comprensione nascono dalla sua polemica con Cartesio, nella quale egli si rifà a dati storici che non sono noti a tutti. Cartesio sosteneva la conservazione della quantità di moto (considerando la velocità in valore assoluto, senza tener conto della sua direzione e verso).

Inoltre L. si basa su un principio di origine sperimentale universale, sul quale è stata costruita una gran parte della fisica teorica classica; ma che ora è ingiustamente relegato tra le idee di cui si può fare a meno. Egli afferma subito, e poi più volte nel corso dell'opera, che non è possibile il moto perpetuo. Questo principio gli serve come strumento di ragionamento: se una ipotesi porta al moto perpetuo, allora è assurda. Però lui distingue tra due tipi di moto perpetuo: quello "meccanico", che produce più energia di quanta ce ne fosse all'inizio, e che è impossibile; e quello "fisico", che avviene ad es. in un pendolo oscillante senza attrito, o nel moto inerziale; e che invece è possibile, benché nella pratica lo si possa solo approssimare. Solo se vale il moto perpetuo fisico e non quello meccanico, allora vale la conservazione dell'energia, l'altro suo grande principio.

Tutto questo è fuori del comune, ma affatto criticabile. Però L. contrasta Cartesio ricercando in una direzione teorica che non corrisponde né alla meccanica di Newton né alla moderna didattica della meccanica. Perciò nel seguito illustriamo questa direzione teorica.

Dopo aver constatato la trasferibilità dell'energia potenziale tra i corpi con qualche meccanismo, L. generalizza; egli assume questa trasferibilità come possibilità generale, valida anche per la energia cinetica (che lui chiama "forza" come la energia potenziale, però ne distingue le formule diverse). L'idea di L. poteva essere verificata con esperimenti; ma, così come si è fatto per un secolo, le ipotesi sull'urto sono state studiate soprattutto per la loro coerenza logica con i concetti ideali ed i principi; anche perché la grande varietà dei corpi non lasciava

capire da che parte cominciare a ordinare gli svariatissimi fenomeni dei possibili urti.<sup>8)</sup>

Papin aveva già obiettato la mancanza di meccanismi per la trasferibilità di quest'ultima energia. Di fatto, oggi sappiamo che l'energia potenziale può essere trasferita facilmente (ad es. mediante una carrucola); ma quella cinetica viene scambiata totalmente solo quando, nel solo caso dell'urto elastico, le masse sono uguali; altrimenti occorre inventare meccanismi di scambio dell'energia diversi dall'urto; e ciò in molti casi è possibile (ad es. si può trasferire tutta l'energia cinetica di un corpo ad una molla, la quale poi, mediante un meccanismo privo di attrito, viene applicata al secondo corpo, per scaricargli l'energia trattenuta); anche se questo meccanismo è diverso per i singoli casi e può essere complicato; e soprattutto non è assicurato in tutti i casi; tant'è vero che manca del tutto per i corpi plastici, i quali trattengono l'energia cinetica assorbita; e anche nel caso dell'urto elastico il trasferimento di tutta l'energia avviene solo quando le masse dei due corpi sono uguali.

L. vuole astrarre dai tanti meccanismi reali e da considerazioni sperimentali per poter ragionare nella maniera più generale. Perciò spesso enuncia principi di conservazione dicendo anche che una certa quantità si conserva "sempre". La parola "sempre" significa "in qualsiasi tempo e in qualsiasi evento". La parola non fa problema se intesa nel solito senso temporale (di prima e dopo un certo evento), sottintendendo che non ci siano azioni esterne. Ma fa problema se intesa nel secondo senso; perché gli "eventi" includono un qualsiasi fenomeno fisico di azione a contatto (l'unica azione ammessa da L.) che trasferisca energia; tra i quali abbiamo già detto che occorre includere i corpi (parzialmente o totalmente) plastici che assorbono l'energia di un urto, senza restituirla totalmente (L. lo capirà nella successiva opera inedita *Essay de Dynamique sur le lois du mouvement*, 1698, considerazione finale).

La situazione è ancor più complicata dal fatto che L., in apertura dello scritto (Prop. 1 e nota Assioma 1) e in chiusura (Nota all'ultima Prop. e Osservazioni finali) intende il "sempre" anche nel senso ulteriore di "scambio dei corpi". E anzi, nella Proposizione 1 include un concetto, lo "stato" che in realtà è un infelice tentativo di generalizzare ulteriormente il concetto di "corpo"; egli dice che si scambiano gli stati, i quali (secondo la nota alla seguente Definizione 1) includono le masse e le *velocità*, benchè nella Proposizione 1 ha discusso sulla possibilità che le *energie cinetiche* siano differenti!

Quindi dalle trasformazioni temporali dell'energia potenziale egli ha voluto passato alle trasformazioni le più generali. Notiamo allora che per la prima volta in fisica L. segue una riflessione che è tipica di chi è abituato a ragionare per simmetrie;<sup>9)</sup> così come i fisici teorici fanno solamente da qualche decennio.<sup>10)</sup> In termini moderni possiamo dire che L. vuole ragionare con il gruppo di tutte le trasformazioni ipotizzabili in fisica teorica.

Perciò il trasferimento di una grandezza fisica da un corpo ad un altro e l'invarianza per scambio dei corpi appaiono costituire le idee chiave della ricerca esposta nell'*Essay*. L. crede di risolvere il problema di trovare i meccanismi fisici corrispondenti a tutte le trasformazioni, assumendo che per lo meno non è impossibile risolvere questo problema; al contrario, in alcuni casi (corpi elastici di masse differenti, corpi plastici) esso è sicuramente impossibile. Ciò lo porta all'errore. L. ricava degli assurdi che perciò non dipendono dall'aver supposto la conservazione della quantità di moto nel tempo (ciò che sostenevano i cartesiani), ma dalla traduzione che ne dà L., cioè la completa trasferibilità della quantità di moto da un corpo ad un altro.

Comunque L. argomenta correttamente (e qui è la sua polemica con i Cartesiani), che trasferendo (totalmente) una quantità di moto da un corpo ad un altro ci sarebbe un moto perpetuo; e questa impossibilità di trasferimento totale è la prova che la quantità di moto non si conserva "sempre".

In questo scritto L. aveva uno scopo teorico esplicito; egli voleva affermare che solamente la energia può essere trasportata da un corpo ad un altro per qualsiasi trasformazione, quindi solamente essa ha esistenza fisica autonoma. Come spesso avviene, questo scopo viene dichiarato nella conclusione del testo: "...è l'energia (che è la causa del moto) che esiste veramente; cosicché, oltre alla massa, alla posizione e al suo cambiamento (che è il moto) vi è qualche altra cosa nella natura corporea: cioè l'*energia*. Non bisogna dunque stupirsi se la natura (cioè la saggezza sovrana) stabilisce le sue leggi su ciò che c'è di più reale." In altri termini, dell'energia L. vuole affermare, ancor più che la conservazione nel

tempo, la sostanzializzazione; cioè, L. vuole "cosificare" la energia, ponendola allo stesso livello di realtà (natura corporale) della massa.

Qui si può accusare L. di idealismo, perché egli sorpassa la realtà materiale sensibile per dare realtà a ciò che non si vede. Infatti questo tipo di discorsi di L. fu di scandalo agli scienziati empiristi e ai successivi scienziati positivisti che hanno dominato la tradizionale riflessione sulla scienza. Ma questo atteggiamento di L. è stato parzialmente rivalutato nel 1850, quando, con la nascita della termodinamica, si è finalmente riconosciuta la validità di quella sua legge della conservazione (temporale) dell'energia; che invece al suo tempo fu del tutto trascurata dai newtoniani, i quali la consideravano come preconcuzione idealistica della realtà. Lo si è rivalutato ancora una volta negli anni '50, quando i fisici hanno finalmente accettato l'idea che le leggi di conservazione (come quella dell'energia) non sono metaleggi ideali, ma possono costituire i fondamenti stessi di una teoria, più e meglio delle equazioni del tipo  $F=ma$ .<sup>11</sup>) Infine oggi questo atteggiamento di L. non è più uno scandalo per il fisico teorico, perché questi da più di un secolo ha accumulato un insieme di verità scientifiche che sono molto astratte rispetto alle esperienze: ormai la fisica teorica include la vibrazione nel vuoto del vettore campo elettromagnetico, la massa (finita) di questo stesso campo (infinito), la polarizzazione del vuoto, la creazione del mondo (con un big bang), ecc.. In particolare, nelle simmetrie da qualche decennio è ormai invalso l'uso di riferirsi a trasformazioni le più astratte (gauge, dinamiche, ecc.) che non fanno riferimento ad operazioni fisicamente eseguibili.

Quindi oggi l'atteggiamento di L. non è più da valutare come un salto nel buio dell'idealismo metafisico. Egli ha semplicemente esplorato quella direzione di lavoro teorico che aveva indicato Galilei: l'ipotesi deve essere "sensata"; e questo tipo di ipotesi (come nel caso galileiano della caduta dei gravi in assenza o parità di attrito) non sempre viene suggerita direttamente dalle sensazioni, né dai dati empirici. L. non si è fermato alle ipotesi sensate più cautelative rispetto alla realtà, ha ragionato in grande; per questo motivo in fisica teorica ha iniziato a ragionare con le simmetrie con secoli di anticipo sugli altri.

#### 4. Descrizione sintetica dell'opera

Sembra che questo scritto sia stato concepito da L. per un'occasione importante, perché la esposizione ricalca quella di una scienza apodittica famosa, la geometria degli *Elementi* di Euclide. All'inizio egli indica distintamente gli elementi costitutivi della sua teoria: prima le definizioni dei concetti di base; poi gli assiomi, o proposizioni non dimostrate, che riguardano proprietà generalissime; poi ancora, i postulati, che riguardano invece proprietà specifiche del campo di studio in esame. Ad ognuno di essi fa seguire una nota esplicativa.

A queste premesse, precisate formalmente più o meno bene, seguono infine nove proposizioni (con in più due note dopo le proposizioni 7 e 9), con le quali L. vuole confutare l'errore dei cartesiani sulla conservazione della quantità di moto e sostenere la sua tesi della conservazione della energia e della realtà di questa grandezza fisica (questo fa parte della famosa polemica sulla *vis viva*). In fondo al testo ci sono delle osservazioni riassuntive e conclusive.

Il saggio di L. può essere sintetizzato mediante la seguente tabella.

TABELLA 1: SINTESI DELL'ESSAY DE DYNAMIQUE DI LEIBNIZ

AFFERMAZIONE	DERIVAZIONI
<i>Def. 1:</i> Definizione di: energia maggiore, minore o uguale di un'altra, ma riferendole allo scambio di due corpi. <i>Nota:</i> Definizione di "stato" [in realtà: corpo]	
<i>Def. 2:</i> La quantità di moto è il prodotto della massa per la velocità	
<i>Def. 3:</i> Moto perpetuo meccanico come moto che aumenta l'energia. <i>Nota:</i> Esso è impossibile. Il moto perpetuo fisico, che non aumenta l'energia, è possibile	
<i>Assioma 1:</i> L'energia si conserva nella stessa quantità; ovvero, l'effetto intero uguaglia la causa. <i>Nota:</i> Da qui si perviene a delle equazioni	[8,9] 6
<i>Assioma 2:</i> Ogni energia è misurabile con l'altezza di una salita di un grave [energia potenziale]	14
<i>Postulato 1:</i> La energia [cinetica] di A può essere trasferita tutta nella energia [cinetica] di B; o almeno così facendo non si giunge a delle assurdità	
<i>Postulato 2:</i> Gli impedimenti esterni sono esclusi o trascurati	[8 e ss.]
<i>Proposizione 1</i> (dimostrata da altri): La velocità di caduta è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza di caduta [ $v^2=kh$ ]	10,11, 13, 14
<i>Proposizione 2:</i> C'è un meccanismo per trasferire energia potenziale tra due corpi	11
<i>Proposizione 3:</i> Se la quantità di moto è costante, si conserva sempre [anche per scambio]. Allora possiamo trasferire tutta la quantità di moto da un corpo ad un altro di massa diversa	11, 12
<i>Proposizione 4:</i> Se ci fosse la trasferibilità di una certa quantità di moto tra due corpi, ne seguirebbe il moto perpetuo meccanico	12
<i>Proposizione 5:</i> Se la quantità di moto si conservasse sempre, si avrebbe il moto perpetuo	16
<i>Proposizione 6:</i> Caso numerico di quanta energia corrisponde ad una data quantità di moto	14, 15
<i>Proposizione 7:</i> Caso numerico di due quantità di moto equivalenti ad una data energia	
<i>Proposizione 8:</i> Se due corpi hanno uguale energia, non hanno la medesima quantità di moto; e viceversa.	
<i>Proposizione 9:</i> La quantità di moto non si conserva sempre [per scambio dei corpi]. <i>Nota:</i> Vengono date le formule matematiche dell'energia e della quantità di moto; le loro differenze	
<i>Osservazioni</i> su: concetto di "forza" come è inteso dai Cartesiani (quantità di moto) e come è inteso da L. (energia); origine dell'errore dei cartesiani; problemi di nominalismo; facilità del calcolo dei bilanci energetici, perché fanno a meno della variabile tempo; è l'energia che esiste veramente; la Natura stabilisce le sue leggi mediante la grandezza energia.	

*Legenda:* Le derivazioni, salvo quelle tra [ ], sono quelle indicate da L..

##### 5. La novità dell'organizzazione della teoria

Per L. ci sono tre maniere di costruire una teoria: "geometrica, cioè immaginaria ed esatta; meccanica, cioè reale, ma non esatta; e fisica, cioè reale ed esatta."<sup>12</sup>) E' chiaro che, essendo la maniera "meccanica" quella della odierna fisica tecnica, è la maniera "fisica" la maniera adatta a costruire teorie fisiche della natura: cioè in fisica occorre essere esatti e purtuttavia reali.

L. ha insistito su questo punto argomentando anche sotto un altro punto di vista. Mentre in matematica le verità sono necessarie (cioè si impongono come

evidenti alla ragione), le verità della teoria della natura debbono essere contingenti; quindi non debbono imporsi da sole alla ragione; ma anche, giusto la lezione di Galilei, con degli esperimenti. Su questo punto L. non faceva distinzione tra leggi particolari e principi. Anzi, essendo lui interessato soprattutto ai principi, proprio a questi ultimi attribuiva il carattere di verità contingenti; cioè, egli diceva, un principio è una verità tale che la sua contraria non è falsa; proprio come avviene per ogni verità sperimentale (il che è chiaro se si ricorda che questa verità è basata su misure approssimate).

Ora si noti che è esistita una maniera di organizzare una teoria scientifica tradizionale che ha dominato la scienza occidentale da Aristotele ed Euclide e poi, attraverso (la meccanica di) Newton, fino a i nostri giorni; quella di organizzare una teoria in maniera totalmente deduttiva a partire da principi-assiomi, il più possibile sicuri, se non autoevidenti. Allora la maniera di L., di introdurre all'inizio delle verità contingenti, è molto diversa; perché se all'inizio di una scienza deduttiva si pongono delle verità solo contingenti, non si vede come se ne possono dedurre leggi e teoremi con assoluta certezza, così come pretende di fare il metodo deduttivo. Qui c'è un punto di primaria importanza, che i commentatori di L. finora non hanno saputo caratterizzare, pur avvertendone l'importanza.

In effetti, un secolo dopo quella sua maniera di concepire l'organizzazione di una teoria scientifica è stata realizzata da Lavoisier in chimica, da L. Carnot nella teoria meccanica, in geometria ed in analisi; e poi anche dal figlio di quest'ultimo, Sadi Carnot, in termodinamica.<sup>13)</sup> Il fatto che poi questa organizzazione non abbia prevalso su quella deduttiva, è da spiegare con fattori storici, non certo con confutazioni scientifiche o filosofiche: perché queste non ci sono mai state; mentre, al contrario, nel 1931 Goedel ha confutato l'idea che l'organizzazione storicamente dominante, quella interamente deduttiva, di una teoria matematica, possa essere unica, in quanto ha dimostrato che non può essere autosufficiente.

Quindi bisogna rivalutare L. anche su questo punto. In generale, in un dato processo di indagine non è tanto il principio logico-filosofico di non contraddizione quello che ha il ruolo cruciale, quanto l'altro principio, introdotto proprio da L., quello di ragion sufficiente. "Nulla è senza ragione, ovvero c'è sempre una ragione, anche se non sempre siamo in potere di trovarla". Come si vede, questo principio è formulato da L. con due negazioni ("Nulla è senza ragione"), la eliminazione delle quali lascia una frase ("c'è sempre una ragione") che, come nota L. stesso, non trova il sostegno della evidenza sperimentale. Il che è tipico di quel ragionamento euristico che invece direziona una organizzazione teorica che sia finalizzata a trovare un nuovo metodo scientifico; cioè, il secondo principio della ragione umana è proprio un principio metodologico.

E' molto rilevante che gli studi recenti di logica matematica abbiano sottolineato che la differenza tra i due suddetti principi (validità o no della legge della doppia negazione) indica anche una incommensurabilità tra due tipi di logiche, quella classica e quella intuizionista<sup>14)</sup> (o, più in generale, una delle logiche non classiche). Il che non può esprimere meglio la radicale diversità tra due tipi di organizzazioni scientifiche globali e tra due tipi di processi argomentativi scientifici.

In questa nuova organizzazione i principi autoevidenti sono sostituiti da dei principi metodologici, con i quali si va alla ricerca di un nuovo metodo scientifico, il quale sappia risolvere il problema generale della teoria (in meccanica, ad es., il problema è se ci sono degli invarianti del moto; in termodinamica quale sia il massimo lavoro estraibile da una data quantità di calore). Si noti che nelle teorie di L. e di ambedue i Carnot il principio metodologico basilare è la impossibilità del moto perpetuo, un principio al quale purtroppo gli studiosi di L. non hanno dedicato attenzione.<sup>15)</sup>

Tutto questo concretizza quanto autorevoli studiosi di L. avevano già notato in precedenza ma non precisato. In particolare, il fatto che in L. i principi, più che fungere da assiomi per le successive deduzioni, sono di tipo "architettonico", nel senso che danno tutta una organizzazione alla teoria. Benché questa idea non sia mai stata precisata nella filosofia della scienza, essa è servita a molti interpreti a migliorare la conoscenza delle opere di meccanica di L..<sup>16)</sup>

## 6. La serie delle frasi doppiamente negate

Si noti che, in accordo con il principio logico-filosofico di ragion sufficiente, anche il precedente principio metodologico, quello dell'impossibilità del moto perpetuo (= senza fine), è una frase doppiamente negata. Ma anche altre volte il testo in esame presenta frasi doppiamente negate che non corrispondono alle proposizioni affermative. Le elenchiamo

1) "... non vi può essere moto meccanico perpetuo meccanico" (Nota dopo l'Assioma 1).

2) "... non succederà mai che la natura sostituisca uno stato [un corpo] al posto dell'altro, se essi non sono di uguale energia." (ibidem)

3) "... non si giunge a nessuna [alcuna] assurdità se si suppone questo trasferimento" [totale di energia tra due corpi] (Postulato 1)

4) "...diversamente, una sua parte [di energia] andrebbe perduta" (Nota al Postulato 1)

5) "... basta che esso [un meccanismo di trasferimento] non sia impossibile" (Nota al Postulato 1)

6) "... tutte le volte che...l'uno non può discendere senza che l'altro salga con velocità inversamente proporzionale ai pesi... c'è equilibrio." (Osservazioni)

7) "E' impossibile escludere tutti gli impedimenti accidentali." (Osservazioni)

Poiché ognuna di esse ha la proprietà di non essere equivalente alla corrispondente frase positiva (perché questa manca di prove sperimentali), allora esse insieme indicano i vari punti della esposizione dove l'autore non ha prove sperimentali per sostenere le sue affermazioni. Il che significa che esse sono le tipiche affermazioni euristiche, quelle che indirizzano il progetto di ricerca dell'opera in esame; e, tutte assieme, sostanziano il metodo di ricerca esplorativo dell'autore. Qui c'è tutta la differenza tra una organizzazione solamente deduttiva di una teoria scientifica e una organizzazione basata su un problema cruciale, del quale la teoria vuole ricercare euristicamente un metodo scientifico di soluzione.

Come già notato altrove,<sup>17)</sup> queste frasi indicano i punti cruciali di un'opera scientifica; così tanto che alle volte risultano sufficienti, esse sole, per ricostruire il filo centrale di tutto il discorso. Verifichiamolo in questo caso. Si noti che l'ultima frase ha un contenuto generico, valido per ogni scienza sperimentale; quindi non è significativa per la ricostruzione che vogliamo tentare. Restano sei frasi doppiamente negate. La prima è il principio generalissimo della impossibilità del moto perpetuo; poi viene il principio, specifico della fisica teorica, dello scambio tra i corpi in relazione alla energia degli stessi; poi lo stesso principio, ma visto come trasferimento dell'energia; al quarto posto c'è una affermazione che esprime la conservazione dell'energia come principio di ricerca; al quinto posto un principio che potrebbe anche essere operativo, che però L. assume in fisica teorica senza darne le prove sperimentali; e infine al sesto posto, un principio teorico di immediata rilevanza operativa; questo è il principio della leva "dinamizzato", anticipazione del principio dei lavori virtuali.

Come si vede, si può riconoscere un preciso percorso logico, formato da una sequenza di principi metodologici che, partendo dal livello più astratto e andando al livello più concreto, direzionano tutta la ricerca, anche se non la esprimono compiutamente. Ma allora, anche se L. non è preciso, è coerente con questo modo di ragionare scientifico, sia a livello di fondamenti delle teorie scientifiche sia a livello dei fondamenti della particolare teoria meccanica. Ciò indica che quel suo modo di esporre la teoria dell'*Essay* (per definizioni, assiomi, postulati, proposizioni e note), come se essa fosse una teoria puramente deduttiva, è posticcio; forse ciò fu motivato dalla presentazione dello scritto davanti alla Accademia delle Scienze di Parigi. Per di più non è partecipato da L.; perché egli: 1) non ha mai scritto opere di fisica in maniera completamente deduttiva (a parte scritti giovanili); 2) non ha ritenuto di pubblicare l'*Essay*; 3) la organizzazione deduttiva di quest'opera è più disordinata di quanto si facesse ai suoi tempi.

Su quest'ultimo punto, basti notare che la Def. 1 dipende dalla definizione di "stato" del sistema, la quale viene però data nella nota della Definizione 1; e dipende anche dal concetto di moto perpetuo meccanico, la cui definizione viene data nella Definizione 3; per di più, l'affermazione, dalla quale dipende tutta la teoria, della impossibilità di questo tipo di moto, viene data in una semplice nota alla Definizione 3. Neanche uno studente poteva fare di peggio. Evidentemente l'aspetto deduttivo dell'*Essay* era semplicemente un abito di circostanza per presentare meglio l'opera agli occhi di cultori tradizionalisti della scienza.

## 7. La linea di costruzione di una meccanica alternativa a quella di Newton

Quanto detto in precedenza porta a sostenere che il testo di L. è la prima espressione di una radicale alternativa alla meccanica che invece finora è stata considerata unica e insostituibile, quella di Newton (e per questo pregiudizio, i precedenti interpreti della dinamica di L. si sono spesso limitati a considerarne la metafisica, senza neanche azzardare ipotesi sul valore degli scritti di fisica teorica di L.).<sup>18)</sup> Come illustrazione della differenza radicale con la meccanica di Newton basta elencare i concetti fondanti le rispettive teorie meccaniche.

TABELLA 2: I CONCETTI BASILARI DELLE TEORIE DI NEWTON E DI LEIBNIZ

CONCETTI BASILARI	NEWTON	LEIBNIZ
<i>Logica</i>	classica	classica e non
<i>Principi filosofici</i>	non contraddizione	non contraddizione e ragion sufficiente
<i>Principio di filosofia fisica</i>	Causalità	impossibilità del moto perpetuo
<i>Spazio</i>	assoluto	relativo
<i>Tempo</i>	assoluto	relativo
<i>Corpo di riferimento</i>	punto-massa	esteso
<i>Corpo ideale nell'urto</i>	Perfettament e duro	elastico
<i>Fenomeno base</i>	moto continuo	urto
<i>Quantità di moto</i>	sì	no
<i>Accelerazione</i>	sì	no
<i>Forza</i>	sì	no
<i>Energia</i>	no	sì
<i>Equazione basilare</i>	$f=ma$	Conservazione dell'energia
<i>Tecnica matematica</i>	Equazioni differenziali	Simmetrie

Altrove si è già indicato come la dinamica di L. si inserisca, come elemento cruciale, in una tradizione della meccanica che poi culmina in quella sintesi che L. Carnot compie tra la tradizione ingegneristica e la tradizione dei teorici operativi (una sintesi diversa da quella del contemporaneo Lagrange, che unisce la tradizione dei teorici operativi a quella dei teorici astratti).<sup>19)</sup> Il lettore che voglia approfondire l'argomento, può fare riferimento al libretto di L. Carnot, in particolare alla introduzione all'edizione italiana, dove viene presentata una tabella sintetica dei contrasti fondamentali tra la meccanica di Newton e quella di L. Carnot.<sup>20)</sup>

Quindi L. perseguiva un progetto di fondazione di tutta la scienza che non si accordava con la scienza di Newton, e che non ne era da meno per coerenza con la realtà e per profondità di fondazione. Non sorprende allora che questa tradizione meccanica alternativa, benché svalutata dalla maggior parte degli scienziati e filosofi successivi, è stata l'unica capace di fornire la matrice culturale (energia, irreversibilità, principi metodologici, ecc.) necessaria per la nascita della termodinamica, teoria che chiaramente è estremamente differente dalla meccanica di Newton (non a caso il fondatore è stato il figlio di Lazare Carnot, Sadi).

Quindi quel contrasto filosofico tra L. e Newton che è l'unico che viene divulgato, non è un episodio isolato di un dibattito solamente filosofico, ma è l'espressione parziale e ridotta (alla Procuste) di un profondo contrasto prima di tutto sulla meccanica, e più in generale su tutta la fisica teorica. Anche se L. non è riuscito in pieno nei suoi progetti, oggi, sulla base dello sviluppo storico di tre secoli di scienza moderna, è riconoscibile la validità della sua "riforma della dinamica"; che, più in generale, era l'espressione di quella *Scientia Generalis* che lui aveva prefigurato e contribuito a realizzare sin dalle sue teorie particolari.<sup>21)</sup>



Per questo motivo la lettura di questa piccola opera di L. ha, per il lettore di oggi, un significato generale: quello di recuperare direttamente, nella scienza, i legami tra una serie di autori finora rimasti sacrificati dal mito di un'unica meccanica: e, nella filosofia, i legami perduti tra scienza e filosofia. <sup>22)</sup>

### Bibliografia e note

1) G.W. Leibniz: **Essay de Dynamique**, 1696, in P. Costabel (ed.): **Leibniz et la dynamique**, Hermann, 1960, 97-106. Si segnala anche la recente versione spagnola, inserita (pp. 31-54) in una raccolta di scritti di L. sulla meccanica: G.W. Leibniz: **Ecritos de dinàmica**, Tecnos, Madrid, 1991, a cura di J. Arana Cañedo-Argüelles.

2) M. Guérout: **Leibniz: Dynamique et Métaphysique**, Aubier-Montaigne, Paris, 1967; F. Duchesneau: **La dynamique de Leibniz**, Vrin, Paris, 1994.

3) R. Dugas: **La Mécanique au XVII siècle**, Griffon, Neuchâtel, 1954, 460-520.

4) C. Iltis: "Leibniz and the *Vis viva* controversy", *ISIS*, **62** (1971) 21-33; D. Papineau: "The *vis viva* controversy", *Studies Hist. Phil. Sci.*, **8** (1977) 111-142. E' notevole anche il precedente misconosciuto lavoro di M. Galli: "Sulle idee di Leibniz circa la legge della conservazione dell'energia", *Boll. UMI* (1956) 445-456.

5) La parola "force" è usata da L. in senso generale, così come la si usò fino al 1870 anche dai termodinamici per dire "energia". Tutti i commentatori mantengono "forza", avvertendo solo incidentalmente che essa può significare energia e che L. potrebbe aver avuto ragione. Evidentemente la forza newtoniana fa da categoria interpretativa preconstituiva. Si veda ad es. il pur interessante commento di R.S. Westfall: **Newton e la dinamica del XVII secolo**, Il Mulino, 1982, pag. 373.

6) E. Mach: **La Meccanica nel suo sviluppo storico-critico** (1887), Boringhieri, Torino, 1965, si veda in particolare la p. 3; A. Drago e S.D. Manno: "Le ipotesi fondamentali della meccanica secondo Lazare Carnot", *Epistemologia*, **12** (1989), 305-330.

7) G. W. Leibniz: Lettera a Hermann, 9-9-1712. GM, IV, p. 378.

8) G. Buchdahl: **Metaphysics and Philosophy of Science**, Cambridge, 1969, p. 417.

9) P. Morrison: "Approximate nature of physical symmetries", *Am. J. Phys.*, **26** (1950) 358-368 attribuisce a Leibniz l'origine delle simmetrie in fisica teorica sulla base delle idee di atomi indiscernibili e di spazio omogeneo. H. Breger: "Symmetry in Leibnizean Physics", in AA.VV.: **Leibniz Renaissance**, Firenze, Olschki, 1986, ha sottolineato per primo il ruolo alternativo della meccanica di L. rispetto a quella newtoniana, specificamente per le idee leibniziane di conservazione e di simmetria. K. Mainzer: "Principles of symmetry and conservation laws", in M.G. Doncel et al. (eds.): **Symmetry in Physics (1600-1980)**, Univ, Barcelona, 1987, 69-75 ha interpretato in questo senso lo scritto successivo (1695); ma in maniera non esatta, a nostro parere, tant'è vero che confonde (come d'altronde molti commentatori; ad es. Arana dell'edizione spagnola) *fdt* con *fds* (p. 71); ciò al chiaro scopo di ricondursi alla forza newtoniana, che viene introdotta nei calcoli, anche se Leibniz l'ha rifiutata (in realtà la "forza morta" è semplicemente quello che Leibniz dice, l'infinitesimo dell'energia o del lavoro).

10) Si veda la cronologia implicita nella bibliografia di J. Rosen: "Resource Letter SP-2: Symmetry and Group Theory in Physics", *Am. J. Phys.*, **49** (1980) 304-319, oppure A. Pirolo: "Periodizzazione del ruolo delle simmetrie in fisica teorica e bibliografia sistematica", in A. Rossi (ed.): **Atti XIII Congr. Naz. Storia Fisica**, Conte, Lecce, 1995, 259-284. In particolare J. Rosen: "Fundamental manifestations of symmetry in physics", *Found. Phys.*, **20** (1990) 282-307, ragiona in termini analoghi a Leibniz (cioè generalizza le trasformazioni a quelle che sarebbe ben difficile eseguire) per quel che riguarda le proprietà basilari di una teoria fisica, la riproducibilità degli esperimenti e la predicibilità dei fenomeni.

11) E.P. Wigner: "Invariance in physical theory", *Proc. Am. Phil. Soc.*, **93** (1949) 521-526.

12) Citato in R. Dugas: op. cit., p. 461.

13) A. Drago: "La chimica classica come esempio di teoria organizzata su un problema centrale", in F. Calascibetta, E. Torracca (eds.): **Atti II Conv. Naz. Storia e Fond. Chimica**, Acc. dei XL, V, 12, Roma, 1987, 315-326. **Le due opzioni**, La Meridiana, Molfetta BA, 1991; "The process of induction as a non-classical logic double negation. Evidence from classical scientific theories", *Mathware and Soft Computing*, 3 (1996) 295-308.

14) Da alcuni decenni la legge della doppia negazione è stata posta a discriminante (traduzione di Goedel-Glivenko) tra la logica classica e quella intuizionistica (e in generale si può dire: quella non classica). Si veda anche D. Prawitz: "Meaning and Proof", *Theoria*, 43 (1977) 6-39. A. Drago: "Incommensurable theories: The rejection of the double negation logical law", in D. Costantini e M.G. Galavotti (eds.): **Nuovi problemi della logica e della filosofia della scienza**, CLUEB, Bologna, 1991, vol. I, 195-202.

15) Si veda ad es. F. Duchesneau: op. cit., p. 266, nota. In generale, si veda A. Drago, F. Piro: "Perché Leibniz non credeva nel moto perpetuo meccanico?", in C. Cellucci et al. (eds.): **Prospettive della Logica e della Filosofia della Scienza**, ETS, Pisa, 1998, 403-418.

16) Si veda, ancora una volta, F. Duchesneau: op. cit., cap. IV. Una maniera analoga di esprimere la differenza cruciale tra organizzazione deduttiva e organizzazione su un problema è quella di M. Guérout: op. cit., il quale la riferisce al metodo di ragionamento, distinto in *a priori* e in *a posteriori*. Inoltre l'idea dei principi architettonici è utile anche per comprendere anche altri scienziati, ad es. Poincaré; vedasi M. Detlefsen: "Poincaré against Logicians", *Synthese*, 90 (1992) 349-378.

17) A. Drago: "L'analisi infinitesimale in L. Carnot", in L. Curcio, G. Merolla (eds.): **Per una storia dell'analisi infinitesimale**, Quad. Pristem n. 3, Milano, 1994, 75-83.

18) Fa eccezione l'autorevole Cassirer, il quale attribuisce a L. l'inizio della teoria fisica energetica: **Storia della Filosofia Moderna**, vol. 2, Newton Compton, 1977, p. 268.

19) A. Drago, S.D. Manno: "La meccanica nel settecento", *Giornale di Fisica*, 27 (1986) 291-307; A. Drago, M.G. La Sala: "La meccanica di Leibniz ricostruita come coerente alternativa alla meccanica di Newton", in P. Tucci (ed.): **Atti XVI Conv. Naz. Storia Fisica e dell'Astronomia**, Milano, 1997, 383-402.

20) L. Carnot: **Essai sur les Machines en général**, Defay, Dijon, 1783 (trad. it. di A. Drago e S.D. Manno, CUEN, Napoli, 1994).

21) A. Drago: "Leibniz's *Scientia Generalis* reinterpreted and accomplished by means of the modern scientific theories", in C. Cellucci et al. (eds.): **Logica e Filosofia della Scienza. Problemi e prospettive**, ETS, Pisa, 1994, 35-54; "The modern fulfilment of Leibniz's program for a *Scientia Generalis*", in H. Breger (ed.): **VI Leibniz Kongress. Leibniz und Europa**, Hannover, 1994, 185-195.

21) Per una maggiore diffusione di questo scritto di L. ne abbiamo dato una versione ridotta e didattica: "*L'Essay de Dynamique* di Leibniz e la sua riforma della meccanica", *La fisica nella scuola*, 31 Suppl. (1998) 81-91.

### Definizione 1

Sulla energia uguale, minore e più grande.

Quando vi sono due stati [corpi] così fatti che, se uno potesse essere scambiato con l'altro senza [fare] alcuna azione da fuori, ne seguirebbe un moto perpetuo meccanico, allora si dirà che [una quantità detta] la energia è stata aumentata da questo scambio, o che l'energia dello stato [del corpo] che sostituisce è più grande e che quella dello stato [del corpo] che viene sostituito è minore; ma se l'energia è né minore né più grande, essa è uguale.<sup>2</sup>

#### Nota

Qui chiamo *stato* (statum) [la massa di] un corpo o [le masse di] parecchi corpi [eventualmente] presi con le loro posizioni, velocità, ecc..

Ho voluto utilizzare questo fatto oggettivo, cioè la energia che aumenta in modo tale da dare il moto perpetuo [meccanico], per adattarmi subito alle nozioni popolari e per evitare le considerazioni metafisiche sulla causa e l'effetto [della forza newtoniana]. Poichè, se si volessero spiegare le cose con concetti *a priori*, bisognerebbe misurare [il concetto *a priori* della] forza[-causa] mediante la grandezza dell'effetto, ma presa in un certo modo che ha bisogno di un po' più di attenzione per essere bene intesa.

Comunque, siccome anche questo [ultimo] tipo di discorso può facilitare il lettore, non tralascero di introdurre di passaggio alcune considerazioni sulla causa e sull'effetto.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> L. inizia subito con dei concetti non facili, che lui ha ottenuto cercando di generalizzare il più possibile da quanto si può fare con l'energia solo potenziale: trasferirla da un corpo all'altro, e viceversa scambiare i loro "stati".

E' curioso che L. ponga le precedenti affermazioni come definizione di uguaglianza dell'energia, perché se si esamina questa definizione, essa richiede previamente la definizione di "stato" (include o no l'energia dei corpi?), che invece viene data nella nota seguente; e la definizione di "moto perpetuo meccanico" (è il moto per cui l'energia aumenta sempre di più) che viene data nella Def. 3. Probabilmente L. anticipa la definizione dell'energia perché vuole sottolineare la conservazione dell'energia, che è l'argomento del successivo Assioma 1 (il più importante) e della chiusura enfatica di tutto lo scritto.

<sup>3</sup> Che significa "scambiare i corpi"? Quello che L., assieme a noi, sapeva è che i corpi possono scambiarsi energia (per urto, ad es.; cioè con il fenomeno che per L. è fondamentale). Qui L. prova a ragionare in maniera inusuale, invertendo i termini della descrizione del fenomeno: fissando ad es. la energia, scambiare i corpi, i quali quindi cambiano posizione, velocità, ecc. in maniera opportuna. Vedremo poi dopo che l'innovazione è in parte deviante; e L. non la riprenderà negli scritti successivi.

Che cosa è lo "stato"? La sua nota seguente dà una definizione che presa alla lettera è deviante (che significa "ecc.") o sbagliata (se lo stato include la velocità, come può cambiare energia cinetica?). A noi questa parola è apparsa come una generalizzazione deviante di L. del semplice concetto di "corpo".

Un'osservazione generale: notiamo che chiaramente L. sceglie di non fondare la fisica sulla metafisica della forza-causa, adottata da Newton. Piuttosto, i suoi concetti fondamentali sono lo stato, l'impossibilità del moto perpetuo e l'energia, gli stessi della successiva teoria termodinamica. E' anche chiaro che qui, e nell'Assioma 1, egli rifiuta di introdurre l'analisi infinitesimale tra i primi concetti della meccanica; piuttosto inizia con la definizione di una semplice relazione algebrica, fondata su fatti acclarati dalla esperienza millenaria dell'umanità. E' lo stesso atteggiamento fondazionale empirista che un secolo dopo verrà riproposto da L. Carnot nel *Saggio sulle macchine in generale* (1782),

## Definizione 2

La quantità di moto è il prodotto della massa del corpo per la sua velocità.<sup>4</sup>

### Nota

Si può ricondurre la massa dei corpi materiali al peso. Così un corpo che è di 4 libbre e che viaggia con il grado uno di velocità, avrà una quantità di moto pari a quattro. [Qui Leibniz ragiona come se il valore numerico di  $g$  fosse 1]. Ma se quel corpo, essendo di 4 libbre, avesse 3 gradi di velocità, la sua quantità di moto sarebbe pari a 12.

## Definizione 3

Il moto perpetuo meccanico (che si cerca invano) è un moto per cui i corpi si trovano in uno stato di moto; e cercando di uscirne, non ci riescono per niente; e, dopo qualche tempo, il tutto si trova in uno stato di moto non solo uguale a quello in cui era all'inizio, ma ancora di più; poiché, oltre che riprendere il primo stato, la macchina va a produrre qualche effetto o compie qualche funzione meccanica, senza che in tutto ciò ci sia il contributo di alcuna causa esterna.

### Nota

Per esempio, prendiamo una macchina nella quale all'inizio alcuni pesi sono sollevati ad una certa altezza. Questi pesi, trovandosi in uno stato violento [cioè sottoposti a una forza non nulla], cercano di scendere; ve ne sono alcuni che discendono effettivamente, [ma] obbligando altri pesi a salire. [Perciò], la natura si inganna, per così dire, credendo di arrivare al suo scopo. [Comunque,] l'arte [del costruttore] vuole regolare così bene le cose che, in capo a qualche tempo, appaia che vi sono tanti pesi sollevati quanti erano all'inizio e anche di più. Io dico di più poiché, strada facendo, questi pesi potrebbero anche generare, più o meno direttamente, qualche altro movimento; per esempio: sollevare dell'acqua, macinare frumento, o produrre qualche altro beneficio per il quale si era progettata la macchina. Un tale moto perpetuo è stato sempre cercato; ma è impossibile trovarlo, poiché la energia aumenterebbe da se stessa e l'effetto sarebbe più grande dell'intera causa.

[D' altra parte] è vero che, se si eliminano gli impedimenti accidentali, i corpi che discendono possono risalire da soli precisamente alle altezze iniziali. E ciò è necessario; altrimenti la loro energia non si conserverebbe; e se l'energia diminuisse, l'effetto intero non sarebbe equivalente alla causa, ma inferiore. Si può allora dire che [in questo caso] c'è un moto perpetuo fisico, quale quello di un pendolo perfettamente libero. Ma [nella pratica] questo pendolo non ritornerà mai alla primitiva altezza, e tanto meno ci arriverà se, durante il suo cammino, esso compirà o produrrà anche il più piccolo effetto o se incontrerà anche il più

---

CUEN, Napoli, 1994; e due secoli dopo verrà riproposto indipendentemente dal grande epistemologo E. Mach, ne *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico* (1888), Boringhieri, 1966.

<sup>4</sup> In effetti L. conosce bene le formule matematiche alle quali si riferisce, così come si vedrà alla fine; ma qui vuole ragionare sulle idee in maniera del tutto indipendente dalle concatenazioni matematiche. Per Cartesio la velocità era presa in modulo, per L. assieme alla direzione e verso (cioè come vettore); anche Newton (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687, p.17) l'aveva già definita nel secondo modo; L. lo noterà nelle "Osservazioni" finali.

piccolo ostacolo; altrimenti questo sarebbe un moto perpetuo meccanico. Ora, ciò che si è appena detto dei pesi vale anche per le molle e per gli altri corpi che facciamo agire mettendoli in uno stato violento.<sup>5</sup>

### Assioma 1

La energia si conserva nella stessa quantità; o, anche, l'effetto intero è uguale alla sua causa.<sup>6</sup>

#### Nota

Questo principio è di grande uso nella meccanica; tanto quanto nella geometria è utile quello che dice che "*il tutto è uguale a tutte le sue parti*". L'uno e l'altro ci danno il modo di pervenire a delle equazioni; e ad una sorta di analisi [matematica]. Ne consegue che non vi può essere moto perpetuo meccanico, e analogamente che non succederà mai che la natura sostituisca uno stato [un corpo] al posto dell'altro se essi non sono di uguale energia. E se, secondo quella definizione di energia uguale, o diseguale, che abbiamo dato prima, lo stato [il corpo] L può essere sostituito allo stato [al corpo] M, allora bisogna che, reciprocamente, lo stato [il corpo] M possa essere sostituito allo stato [al corpo] L, senza timore di [giungere ad] un moto perpetuo.<sup>7</sup>

### Assioma 2

---

<sup>5</sup> Quindi, i tipi di moto perpetuo sono due: quello "meccanico", che è impossibile; e quello "fisico", che è ideale ed è sempre approssimabile. Ed è in questa approssimazione che valgono le situazioni estreme del pendolo che oscilla mantenendo la stessa ampiezza di oscillazione; e, Leibniz avrebbe potuto aggiungere, del moto inerziale. E' curioso che la definizione di moto perpetuo fisico sia data in nota; e ancor di più che questo venga dichiarato possibile e l'altro impossibile nel corso di una semplice nota aggiuntiva. Anche questo fa parte della imprecisa organizzazione dello scritto.

<sup>6</sup> Il precedente principio viene chiamato "assioma" perché, alla maniera di Euclide, riguarda una idea del tutto generale, non specifica del campo di studio in questione. Si noti che per Leibniz esistono due metafisiche (L. lo spiega molto bene nello scritto successivo *Specimen dynamicum*): una, che trascende del tutto la teoria scientifica ed è quella della sua seconda frase nell'enunciato dell'Assioma 1; e un'altra che fonda la teoria scientifica e che si esprime con i principi della teoria stessa; i quali debbono avere una loro logica, indipendente dalla prima metafisica. Nell'Assioma 1 è la prima frase quella che riguarda un principio scientifico.

Si noti ancora che questa prima affermazione di L. riguarda l'energia in generale; poi egli la specificherà mediante opportuni casi di studio in energia potenziale ed energia cinetica. Inoltre essa riguarda ciò che modernamente si intende per conservazione dell'energia nel tempo; ma L., come si è già visto nella Def. 1 e si vedrà anche in seguito, la intende anche come conservazione dell'energia per scambio dei corpi, senza specificare il meccanismo del trasferimento e senza indicare la durata del trasferimento; cioè per le trasformazioni le più generali.

<sup>7</sup> Si noti che con questo assioma L. vuole arrivare a "delle equazioni; e ad una sorta di analisi" matematica. Cioè L. vuole costruire il rapporto fisica-matematica mano a mano che egli fonda la teoria, e non come ha fatto Newton, come rapporto già presupposto, fornito dalla geometria analitica e dall'analisi infinitesimale, ambedue teorie già date e pronte per essere utilizzate come strumenti massimamente potenti.

Qui egli continua a riferirsi agli scambi dei corpi, ma in seguito tratterà solo il trasferimento dell'energia.

E' necessaria tanta energia per sollevare una libbra all'altezza di 4 piedi quante è necessaria per sollevare 4 libbre all'altezza di un piede.<sup>8</sup>

Nota

Questa affermazione è un principio. Ma lo si potrebbe dimostrare con l'assioma 1 e anche in altro modo. Senza di esso sarebbe facile ottenere il moto perpetuo meccanico.

### Postulato o richiesta 1

Si postula che tutta la energia [anche quella energia cinetica] di un corpo dato possa essere trasferita su un altro corpo dato; o almeno, si postula che non si giunge a nessuna assurdit  se si suppone questo trasferimento.<sup>9</sup>

Nota

E' certo che un piccolo corpo pu  acquistare una tale velocit  da superare l'energia di un corpo grande, che viaggi lentamente. Quindi potr  acquistarne anche una precisamente uguale. E il corpo grande ne potr  essere la causa, perdendo la sua energia con delle azioni su altri corpi, i quali alla fine la potranno trasferire tutta sul corpo piccolo mediante scontri [elastici] o modificazioni appropriate. Alla stessa maniera, il piccolo corpo potr  trasferire tutta la sua energia sul corpo grande, non importa se indirettamente o direttamente, tutta d'un colpo o gradualmente; purch  si abbia che, mentre dapprima era in moto il solo corpo A, alla fine solo il corpo B sia in moto. Perch , per il 1° assioma, bisogna che B abbia ricevuto tutta l'energia del corpo A; diversamente, una sua parte andrebbe perduta. Per eseguire questo trasferimento della energia si pu  immaginare un certo macchinismo. Ma quand'anche non se ne desse la costruzione, basta che esso non sia impossibile; proprio cos  come Archimede uguagliava la circonferenza di un cerchio ad un [segmento di] retta, senza poterlo costruire effettivamente.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Questo Assioma 2   chiamato da L. (che qui sembra perdere di lucidit ) assioma, anche se riguarda un'idea che non   generale come quella dell'Assioma 1; poi nella nota L. lo chiama "principio"; infine dice che lo si potrebbe anche dimostrare; in tal caso sarebbe n  un assioma n  un principio. Per il suo passare alla misura delle grandezze   bene lasciargli la denominazione di "assioma".

Con questo assioma L. d  una misura operativa e quantitativa di energia, riportandola all'energia potenziale dei pesi, esprimibile con  $(mg)h$ . Allora pi  in generale, il principio dice che:  $(mg)h=(Mg)H$ .

Per il seguito, si noti che, anche se L. non lo dice, si pu  realizzare questa proposizione mediante un meccanismo preciso, che trasferisce l'energia potenziale da un corpo all'altro, nelle condizioni ideali del moto perpetuo fisico; ad es. una carrucola alla quale sono appesi, mediante una corda, due pesi; oppure una leva ai cui estremi sono appoggiati i due corpi.

<sup>9</sup> Il "postulato", inteso alla maniera di Euclide, si distingue dall'"assioma" perch    un principio relativo allo specifico campo di fenomeni qui studiato.   l'affermazione centrale di tutto il saggio, perch    specifico per il campo di indagine di questa ricerca e risponde al problema cruciale che L. aveva incontrato nella sua riflessione sull'energia. Questo postulato fa passare dal caso precedente dell'energia potenziale al caso del trasferimento anche dell'energia cinetica e quindi a trattare situazioni essenzialmente dinamiche, cos  come fa vedere la nota seguente. Esso   una risposta a Papin, che gli aveva negato l'esistenza di meccanismi adatti allo scopo.

Nel caso dell'energia cinetica, i meccanismi in natura danno risultati diversi da quelli dell'energia potenziale. Si ricordi che L. non considera possibili le azioni

## Postulato 2

Si postula che gli impedimenti esterni siano esclusi o trascurabili, come se non ve ne fosse alcuno.

Nota

Infatti poichè qui argomentiamo sulle ragioni delle cose e nient'affatto sulla pratica, si può concepire il moto come se avvenisse nel vuoto, come se non vi fosse nessuna resistenza del mezzo; immaginando anche che le superfici dei piani e dei globi siano perfettamente lisce, affinché non vi sia per niente attrito; e analogamente per il resto. Questo postulato viene posto per esaminare le cose una alla volta, salvo poi ricombinarle nella pratica.

## Proposizione 1

Lemma dimostrato da altri

---

a distanza, ma solo quelle di contatto; quindi lo scambio di energia cinetica può avvenire solo per urto, diretto o indiretto. Per aumentare le potenzialità del trasferimento per urto si potrebbe pensare ad un urto con un corpo intermedio, il quale trasformi l'energia cinetica in energia potenziale; ad es. una molla, che attraverso dei meccanismi opportuni, restituisce all'altro corpo l'energia ricevuta. Però nulla è suggerito da L. in questo senso. In realtà, già nel caso dell'urto diretto di corpi elastici, il trasferimento totale dell'energia cinetica, preteso dal postulato di L., vale solo in una situazione particolare, quando le masse dei corpi sono uguali (cfr. qualsiasi testo di Meccanica; comunque le equazioni dell'urto verranno ricordate al momento della Nota alla Proposizione 9).

Si noti che L. si riferisce solo ai corpi elastici (il suo postulato 2 potrebbe servire per definire un tale corpo), come se questi fossero gli unici corpi della realtà o comunque come se fossero sempre approssimabili molto da vicino; in realtà quelli totalmente plastici ne sono diversi essenzialmente. Di fatto egli ha solo iniziato la teoria dell'urto, che poi nel 1782 verrà completata da L. Carnot: op. cit.. Ci vorranno 150 anni affinché questo tipo di schematizzazione dei corpi venga acquisito dalla fisica teorica, lasciando da parte l'idealizzazione di Wallis e Newton, di un corpo così duro da non cambiare mai di forma, qualsiasi sia la violenza dell'urto. In quest'idealizzazione, la fissità della forma impedisce che la energia del moto diventi energia di deformazione; quindi non si può avere la conservazione dell'energia (ecco un punto di scontro cruciale tra L. e Newton. Si ricordi che l'energia di deformazione, se il corpo è elastico, viene totalmente restituita, così come avviene in una molla; se invece il corpo è plastico, parte dell'energia viene trattenuta mentre la forma del corpo resta deformata). Perciò il Postulato 2 non vale neanche nelle interazioni di questi corpi (L. non ha fatto i conti con la diversità essenziale del mondo microscopico da quello macroscopico, perché è convinto della validità universale della sua legge di continuità, applicata in questo caso ai corpi elastici). *Questo è il punto erroneo dello scritto, tale da inficiare alcune delle proposizioni seguenti.*

<sup>10</sup> Le prime frasi non sono influenti sul ragionamento successivo; servono solo a chiarirsi con i Cartesiani. L. si rende conto che quello che lui postula (che si possa generalizzare la legge dei trasferimenti di energia potenziale ai trasferimenti di energia cinetica tra due corpi) è un salto logico, perchè per il secondo caso non si sa precisare il meccanismo operativo che lo effettua. Per giustificare questo allargamento, così ampio, dalle esperienze operative al gruppo delle trasformazioni più generali, L. si appoggia sulla teoria matematica del processo di esaurimento di Archimede; che compie il salto logico dai processi di approssimazione operativa sui poligoni iscritti e circoscritti al risultato che appartiene al limite del cerchio e che semplicemente non è impossibile (infatti tutte le dimostrazioni del metodo di esaurimento sono per assurdo).

Cadendo, i corpi pesanti acquistano velocità che sono proporzionali alle [radici] quadrate delle altezze dalle quali essi discendono; e, viceversa i corpi possono salire, in virtù delle velocità che essi hanno, alle medesime altezze dalle quali dovrebbero cadere per acquistare quelle velocità.

Nota

Questa proposizione è stata dimostrata da Galilei, Huygens e altri. Per esempio: un corpo, che cade dall'altezza di un piede, alla fine della caduta acquista un grado di velocità; invece un corpo, che cade da due piedi, acquisterà 4 gradi di velocità; tre piedi daranno 9 gradi, quattro piedi 16 gradi, ecc.. Infatti 4,9,16 sono i quadrati di 2,3,4, ecc.. E viceversa: poiché un corpo di un grado di velocità può salire all'altezza di un piede, ne segue che un corpo di 4 gradi di velocità avrà la energia di sollevarsi a 16 piedi. In tutto ciò, purché sia soddisfatto il secondo postulato, non importa affatto se il corpo è grande o piccolo, né se la sua discesa avviene perpendicolarmente o obliquamente. Infatti, quando si stima l'altezza si intende sempre l'altezza perpendicolare [al piano dell'orizzonte].<sup>11</sup>

### Proposizione 2

Un corpo B, pesante una libbra, e che scende dalla altezza di 16 piedi, può sollevare un corpo A, pesante 4 libbre, all'altezza che sia un po' meno di 4 piedi.

12

---

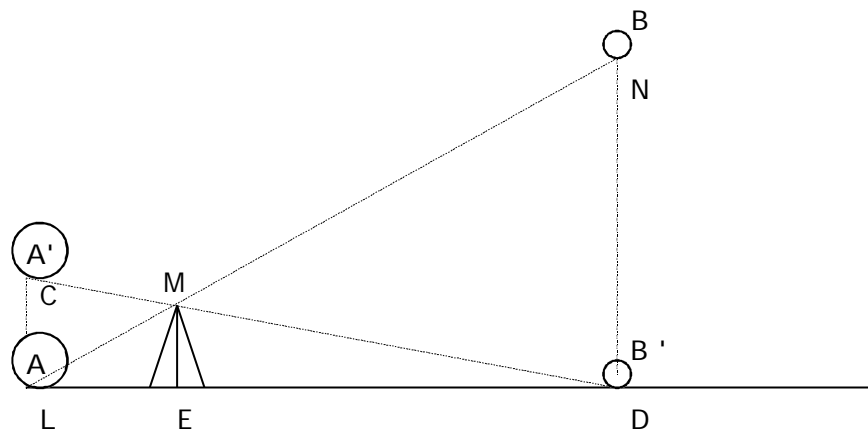
<sup>11</sup> Gli "altri" hanno dimostrato  $v^2 = 2gh$  e cioè  $v = \sqrt{2gh} = kh$ ; la formula non dipende dalla massa né dalle deviazioni dalla verticale. Con essa, L. potrà legare assieme l'energia potenziale con l'energia cinetica in uno stesso corpo.

<sup>12</sup> Qui per coerenza con tutte le altre occorrenze di A e B nel testo e nella figura, abbiamo scambiato varie volte le lettere A e B, anche se i curatori delle altre edizioni non l'hanno fatto.

Con questa proposizione L. specifica l'idea del precedente Postulato 1 mediante l'Assioma 2, perché ne suggerisce un preciso meccanismo di attuazione nel caso in cui le energie iniziale e finale sono solo potenziali. Se non ci fossero attrito e impedimenti esterni la conservazione dell'energia vorrebbe che alla fine B salga a 4 piedi. Ma per mettere in moto il meccanismo L. usa un della energia potenziale iniziale, rendendo il braccio lungo della bilancia un po' maggiore di quello che occorre per avere l'equilibrio; per questo motivo egli dice che alla fine il corpo A verrà sollevato un po' meno di 4 piedi.

Rispetto alla figura del testo (cancellata, corretta e copiata male; v. P. Costabel: op. cit., p. 106) la figura seguente ha notazioni più semplici ed è ripulita degli elementi sovrabbondanti che rendevano difficile la comprensione della dimostrazione.





**Dimostrazione**

Ciò è dimostrato facilmente con [o meglio: a partire dal]la statica comune.

Consideriamo una bilancia a braccia disuguali LMN il cui centro [sia M] e il cui braccio MN sia un po' più di 4 volte la lunghezza del braccio LM. Questa bilancia sia inclinata [a sinistra], in modo che l'estremo L, che porta il peso A, sia all'altezza del suolo; e che l'estremo M, che porta il peso B, sia sollevato a 16 piedi.

Ciò dato, è manifesto che, se questi pesi sono fissati agli estremi della bilancia, allora B prevarrà su A per il noto principio dell'equilibrio. Poiché, siccome [il peso di] A è il quadruplo di [quello di] B, se MN fosse il quadruplo di ML, allora tutto sarebbe in equilibrio. Ma poiché MN è un po' più del quadruplo di ML, B prevarrà; e, discendendo fino al suolo, farà salire A fino a C.<sup>13</sup>

(Ora dai punti C, M e N conduciamo le perpendicolari all'orizzontale, cioè CL, ME, ND. Ora [nei triangoli simili LME ed LND] ME sta a ND come LM sta a LN; e, per ipotesi, LN [che è LM + MN e cioè (1+4+ LM)] è un po' più del quintuplo di ME [errore; casomai, LM. Ma poi il testo ragiona sempre su ME]. Ora ME sta ad LC come MD sta ad CD, cioè come MN sta ad LN; ed MN sta ad LN in ragione un po' più grande di 4. E di conseguenza, altrettanto ME sta ad LC. Dunque, poiché ND sta a ME in ragione un po' più grande di 5 a 1 e poiché ME sta ad LC in ragione un po' più grande di 4 a 5, ne consegue che ND starà ad CL in ragione un po' più grande di 4 a 1). Cioè ND sarà un po' più che il quadruplo di CL; essendo per ipotesi, ND di 16 piedi, è manifesto che CL, altezza alla quale il corpo A verrà sollevato, sarà un po' meno di 4 piedi. Ciò che bisognava dimostrare.

**Proposizione 3**

**Problema**

Supposto che la quantità di moto si conserva [anche essa] sempre, si può fare in modo che al posto di un corpo di 4 libbre con grado di velocità uno, si ottenga un corpo di una libbra con 4 gradi di velocità.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Si tratta ora di determinare la altezza CL. Segue un ragionamento incomprensibile (tutte le frasi che nel seguito abbiamo posto tra parentesi tonde), anche perché le notazioni originali sono confuse. Esso può essere sostituito dal seguente ragionamento: si osservi che i triangoli isosceli LCM e NDM, sono simili; quindi  $ML:CL=MN:ND$ , o anche  $ND:CL=MN:ML$ ; ma sappiamo che quest'ultimo rapporto è uguale a 4+ .

Le notazioni dei punti sono state cambiate per farle corrispondere a quelle della nostra figura.

<sup>14</sup> Qui L. attribuisce la Proposizione 3 ai cartesiani e la propone come un problema. L. conosce bene le equazioni della conservazione nel tempo della quantità di moto e della energia, tant'è vero che le enuncia matematicamente e le usa nelle "Osservazioni" finali; ma non le considera compatibili tra loro, perché le

## Dimostrazione

Il primo corpo sia A, il secondo B e tutta la l'energia di A sia trasferita su B (postulato 1); cioè, mentre prima A era il solo corpo in moto, sia ora B il solo corpo in moto. Poichè niente di accidentale o di esterno ha assorbito un qualcosa della energia (postulato 2), allora bisogna (per l'ipotesi) che B abbia la stessa di moto di A. Dunque se A di 4 libbre aveva una velocità di 1 grado (per ipotesi), bisogna che B, che è di una libbra (per ipotesi), riceva la velocità di 4 gradi. Infatti in questo modo B, seguendo la definizione 2, avrà la stessa quantità di moto di A; poiché una libbra di B deve essere moltiplicata per 4 gradi per fare altrettanto delle 4 libbre di A moltiplicate per 1 grado. Ciò che bisognava dimostrare.<sup>15</sup>

## Proposizione 4

### Problema

Se si suppone che al posto di 4 libbre con 1 grado di velocità si possa ottenere 1 libbra con 4 gradi di velocità, io dico che si potrà ottenere il moto perpetuo meccanico.

### Dimostrazione

Supponiamo che un globo A di una [4] libbra di peso discenda dall'altezza di 1 piede e acquisti 1 grado di velocità. Si ottenga ora (dall'ipotesi) che al suo posto un globo B di 1 libbra abbia [al suolo] 4 gradi di velocità; allora, questo globo B potrà salire all'altezza di 16 piedi (proposizione 1); poi, fissandosi ad una bilancia che incontrerebbe alla fine della salita, e scendendo da questa altezza fino al suolo, potrà sollevare A ad una altezza un po' minore di 4 piedi (proposizione 2). Ora all'inizio il peso A si trovava sollevato dal suolo di 1 piede, e B era a riposo sul suolo. Adesso invece si trova che B, che è ridisceso, è di nuovo a riposo sul suolo, ma A è sollevato dal suolo di quasi 4 piedi (ben di più del suo primo stato; abbiamo un secondo stato nel quale l'effetto è più grande della causa, il che può dare il moto perpetuo meccanico). Perciò A, prima di ritornare dalla altezza di 4 piedi alla sua altezza iniziale di 1 piede, potrà produrre qualche effetto meccanico strada facendo (sollevare acqua, macinare frumento, ecc.); e tuttavia, essendo ritornato ad A, tutte le cose saranno riportate al primo stato (e questo gioco potrà continuare sempre); questo significa ottenere il moto perpetuo meccanico (definizione 3). Ciò che si doveva dimostrare.<sup>16</sup>

## Proposizione 5

### Problema

---

vuole intendere con il "sempre": non come conservazioni nel tempo ma anche per scambio dei corpi, cosa che di certo non vale per la quantità di moto.

La successiva Proposizione 4 smentisce questa Proposizione 3 e la sua dimostrazione; quindi queste appaiono come concessioni ai cartesiani, cioè come un ragionare al loro modo per tentare di accattivarsi il loro consenso.

<sup>15</sup> Ricordiamo che il trasferimento totale della energia cinetica può avvenire solo se A e B hanno masse uguali; mentre invece L. considera poi due corpi con masse diverse. Quindi la conclusione è inaccettabile (v. l'analogo giudizio di Costabel: *Leibniz et la dynamique*, Hermann, 1960, p. 38).

<sup>16</sup> Questa dimostrazione attribuisce lo scambio dei corpi alla tesi dei cartesiani e quindi giustamente conclude che ne deriva il moto perpetuo.

Supposto che la quantità di moto si conservi sempre [anche per trasferimento da un corpo ad un altro], si può ottenere il moto perpetuo meccanico.<sup>17</sup>

#### Dimostrazione

Se infatti la quantità di moto fosse (per l'ipotesi) conservata sempre [anche per trasferimento da un corpo ad un altro] si potrebbe al posto di libbre 4 e velocità 1, sostituire libbra 1 e velocità 4 (proposizione 3); e da ciò si potrebbe ottenere il moto perpetuo meccanico (proposizione 4); che è quello che bisognava dimostrare.<sup>18</sup>

#### Proposizione 6

Un corpo, di 4 libbre di peso e di 1 grado di velocità, ha solamente 1/4 della energia di un corpo di 1 libbra di peso e di 4 gradi di velocità.<sup>19</sup>

#### Dimostrazione

Infatti sia il primo peso A e il secondo B, e supponiamo che A possa salire ad una certa altezza, per esempio di 1 piede. B allora potrà salire alla altezza di 16 piedi (proposizione 1); dunque B ha l'energia di sollevare 1 libbra, cioè il suo proprio peso, all'altezza di 16 piedi. E di conseguenza (assioma 2) ha la energia di sollevare 16 libbre ad 1 piede; mentre invece A ha solamente l'energia di sollevare 4 libbre, cioè il suo proprio peso, a 1 piede (per ipotesi). Ora l'energia di sollevare 16 libbre di 1 piede è (per il senso comune) quadrupla della energia necessaria per sollevare 4 libbre a 1 piede; dunque la energia di B è quadrupla dell'energia di A. Ciò che si doveva dimostrare.

#### Proposizione 7

Un corpo di 4 libbre di peso e di 1 grado di velocità ha la stessa energia di un corpo di 1 libbra di peso e di 2 gradi di velocità. Di conseguenza se tutta l'energia di quello deve essere trasferita su un corpo di 1 libbra, questo riceverà solo 2 gradi di velocità.

#### Dimostrazione

Sia il primo A, il secondo B. Se A può salire di 1 piede, o sollevare 4 libbre, cioè il suo peso, a 1 piede, B potrà salire a 4 piedi (proposizione 1) o sollevare il suo peso, che è di 1 libbra, a 4 piedi. Dunque (assioma 2) la energia di A è uguale a quella di B. Ciò che si doveva dimostrare.

#### Nota

Queste due proporzioni si possono dimostrare anche indipendentemente

---

<sup>17</sup> Si noti il ritorno di L. alla parola "sempre", usata da L. nella Proposizione 3; la quale riporta all'equivoco della conservazione sia nel tempo che nel trasferimento da un corpo ad un altro.

<sup>18</sup> Il risultato è vero, ma la dimostrazione precedente, dipendendo dalla Proposizione 3, non è valida.

<sup>19</sup> Ora L. vuole ristabilire i rapporti esatti tra energia e quantità di moto. Incomincia con un esempio numerico di calcolo della prima quantità, data la seconda. Qui la parola "forza" è tornata a significare "energia"; ogni cartesiano glielo avrebbe potuto obiettare.

dall'assioma 2; e cioè con il solo assioma 1 assieme alla definizione 1; in tal caso si usa una argomentazione simile a quella della proposizione 2, in modo da ricondurre [il ragionamento di] colui che dicesse il contrario al moto perpetuo meccanico. [Infatti] quando eravamo all'assioma 2 abbiamo notato che lo si poteva dimostrare con l'assioma 1, cioè riconducendo la proposizione contraria al moto perpetuo, ovvero *all'assurdo*.

E' bene notare che tutte queste proposizioni e molte altre cose che sono state dette potrebbero essere concepite ed enunciate in tutta generalità secondo lo stile dei geometri. Per esempio, si potrebbe dire, in generale, che *le energie dei corpi sono in ragione composta semplice delle loro masse e doppia delle loro velocità*; e ciò è al contrario delle quantità di moto, le quali sono in ragione composta semplice sia delle masse che delle velocità [ $Q=mv$ ,  $E=mv^2$ ]. Ma ci si è accontentati di esporre enunciati con pochi numeri per parlare in modo più intellegibile a quelli che sono meno abituati alle frasi dei geometri.

### Proposizione 8

Quando le energie [di due corpi] sono eguali, le quantità di moto non sono eguali sempre e viceversa.<sup>20</sup>

#### Dimostrazione

Libbre 4, velocità 1 e libbra 1, velocità 2, sono di energia uguale (proposizione 7); ma la quantità di moto del primo è doppia della quantità di moto del secondo (definizione 2). Viceversa, libbre 4, velocità 1 e libbra 1, velocità 4, hanno una uguale quantità di moto (definizione 2); ma l'energia di quella è solo il quarto della energia di questa (proposizione 6). Lo stesso vale con altri numeri.

### Proposizione 9

La quantità di moto non resta sempre la stessa [per scambio dei corpi].

#### Dimostrazione

Se si suppone che la quantità di moto si conservi, si può ottenere il moto perpetuo meccanico (proposizione 5); ora, questo moto è impossibile (assioma 1), dunque la quantità di moto non resta la stessa.<sup>21</sup>

#### Nota

Lo si può dedurre anche dalla proposizione 8. Infatti, quand'anche si pensasse di negare la seconda richiesta, o secondo postulato, sul quale è fondata la proposizione 5; cioè, quand'anche si volesse negare che tutta la energia di un grande corpo può essere trasferita su un piccolo corpo (cosa che in effetti capita sovente in natura [questa è l'obiezione di Papin]), non si sfuggirebbe con ciò alla forza delle nostre argomentazioni. Infatti, poiché si vede bene che ordinariamente la quantità di moto è differente quando la energia è la stessa e viceversa (proposizione 8); e si vede bene che sempre l'energia si deve conservare, affinché non vi sia mai uno scambio tra due stati [corpi] per cui l'uno sostituito all'altro

---

<sup>20</sup> Qui il "non... sempre" indica che solo occasionalmente, per particolari valori numerici, c'è una uguaglianza tra quantità di moto di due corpi che hanno la stessa energia; basta fare sistema di  $mv=MV$  con o  $1/2mv^2=1/2MV^2$  o con  $mgh=MgH$  e ricavare le relative soluzioni numeriche.

<sup>21</sup> Cioè la quantità di moto non è una cosa, una sostanza. Il risultato è corretto, ma il ragionamento ha utilizzato quel significato di "sempre" che include il trasferimento della quantità di moto tra i corpi. L. avrebbe potuto dimostrare in modo diretto i suoi risultati validi pur di seguire la maniera di ragionare dei geometri, cioè con la matematica. Cosa che cercherà di fare con la Nota seguente.

possa dare un moto perpetuo; allora ne consegue che il più delle volte la quantità di moto non si conserva, sia che si trasferisca tutta l'energia di un corpo su un altro che non gli è uguale, sia che se ne trasferisca una parte e se ne mantenga l'altra. Il che è ciò che i geometri vedono subito a causa della differenza che vi è tra la ragione semplice e la ragione doppia. Si veda la nota della proposizione 7.

Eccone una prova analitica generale per loro soddisfazione [Ma poi L. non parla più di scambio di corpi; tratta solo le leggi dell'urto].

Supponiamo che due corpi A e B si incontrino con le velocità  $v_0$  e  $V_0$  e che dopo l'urto essi abbiano le velocità  $v$  e  $V$ . Se le quantità di moto si conservano, bisogna che  $mv_0 + MV_0$  sia uguale ad  $mv + mV$ ; ma se le energie si conservano, deve essere che  $mv_0^2 + MV_0^2$  sia uguale a  $mv^2 + MV^2$ ; ma è chiaro che queste due equazioni non possono essere vere assieme, se non in un caso particolare, che si potrebbe determinare. E per tagliare corto ecco questa determinazione: *Due corpi che si urtano direttamente, dopo l'urto possono conservare tanto la somma delle loro energie quanto la somma delle loro quantità di moto che essi avevano prima dell'urto, solo quando la differenza delle velocità prima dell'urto è uguale alla differenza reciproca delle velocità dopo l'urto.* Ciò accade tutte le volte che i corpi vanno da un medesimo lato, sia prima che dopo l'urto.<sup>22</sup>

### Osservazioni

La considerazione [delle condizioni] dell'equilibrio [della leva] ha contribuito molto a rafforzare nelle persone l'opinione, che di per sè sembrerebbe verosimile, che la "forza" [intesa in senso generico di regolatrice del movimento] e la quantità di moto sono la medesima cosa; e che [perciò] le "forze" sono uguali quando le quantità di moto sono uguali, cioè quando le velocità sono inversamente proporzionali ai pesi (e che così la "forza" di libbre 4 e velocità 1, è uguale a quella di libbra 1 e velocità 4); perché si vede che tutte le volte che i pesi sono disposti in modo che l'uno non può discendere senza che l'altro salga con [una variazione di] velocità inversamente proporzionale ai pesi [ $m v = M V$ ], allora c'è equilibrio. Ma bisogna sapere che ciò accade come per caso, poiché in effetti avviene che anche le altezze della salita o della discesa sono inversamente proporzionali ai pesi [L. si riferisce, senza conoscerlo (lo enuncerà Bernoulli nel 1717), ad un caso particolare del principio dei lavori virtuali:  $f_i s_i = 0$ ; infatti, nel caso di corpi pesanti, si ha:  $m_i g s_i = 0$  e quindi  $m g s = M g S$ ]. Ora è regola generale, che si deduce dalle

---

<sup>22</sup> Aggiungiamo il calcolo (abbiamo introdotto le notazioni  $m$  e  $M$ ,  $v$  e  $V$  al posto di quelle meno chiare di L.):

$$mv_0 + MV_0 = mv + mV \qquad mv_0^2 + MV_0^2 = mv^2 + MV^2$$

che danno

$$m(v_0 - v) = M(V - V_0) \qquad m(v_0 - v_-) = M(V_- - V_0_-);$$

dividendo le ultime due equazioni:

$$v_0 + v = V + V_0;$$

e quindi vale l'uguaglianza sulle differenze delle velocità prima e dopo l'urto, a meno del segno:

$$v_0 - V_0 = -(v - V);$$

e quindi la relatività del moto. Però L. non crede che questa relazione sia generale, la considera un caso particolare delle velocità. Quindi non riconosce qui una di quelle leggi fondamentali dell'urto (la legge che stabilisce la relatività dei moti), che stabilirà qualche anno più tardi, nell'*Essay de dynamique sur les lois du mouvement* (1698). Da questo errore L. fa seguire che la quantità di moto non può essere trasferita totalmente (mentre invece lo può essere la energia cinetica). Invece, la uguaglianza ottenuta vale in generale e perciò ambedue le grandezze fisiche, energia e quantità di moto, si conservano nel tempo; e, solo nel caso particolare di masse uguali, le due equazioni matematiche dell'urto [elastico] permettono il trasferimento diretto tra due corpi sia della quantità di moto che dell'energia; oppure, col trasferimento mediante corpi intermedi, si può trasferire solo l'energia cinetica, così come dicevamo dopo la Nota al Post. 1.

argomentazioni che abbiamo appena esposto, *che le energie sono in ragione composta dei pesi e delle altezze, alle quali questi pesi si possono sollevare in virtù della loro energia*. Ed allora è bene considerare che l'equilibrio consiste in [è equivalente ad] un semplice sforzo (conatus) prima del moto;<sup>23</sup> e questo è ciò che io chiamo la forza morta, la quale, rispetto alla *forza viva* [= energia cinetica] (che appartiene alla dinamica), è nella stessa relazione che un punto [infinitesimo] ha rispetto ad una linea. Ora, all'inizio della discesa, quando il moto è infinitamente piccolo, le velocità, o piuttosto gli elementi delle velocità [i  $dv$ ] sono proporzionali alle discese [errato; quando si differenzia la formula che lui stesso presenta poco dopo,  $v=(gh)^{1/2}$ , si ha una relazione tra  $v$  ed  $h$  più complicata di quella che L. dice]; invece dopo essere cresciuta, quando la "forza" [da morta] è diventata viva, le discese sono come i quadrati delle velocità.

C'è ancora una cosa che merita di essere osservata. E' che quando si incontrano direttamente un globo di 4 libbre di peso e di 1 grado di velocità e un altro globo di 1 libbra di peso e 4 gradi di velocità essi si impediscono reciprocamente di avanzare, come nell'equilibrio [questo vale solo per corpi plastici]; e che così, quanto all'effetto di impedire l'avanzamento, essi hanno la stessa "forza" [qui è: quantità di moto]. Ma nel frattempo le loro "forze assolute" [energie] sono invece disuguali, perché l'uno può produrre 4 volte l'effetto dell'altro. Si veda la proposizione 6.

Allora tutto questo riguarda la "forza viva" e la "forza assoluta". Questi paradossi hanno molto contribuito a confondere [lo studio del]la materia, tanto che non si sono avute idee ben distinte sulla "forza" e sulle sue differenti forme. Ma io spero che nelle nostre Dinamiche queste cose appaiano del tutto chiare [*Dynamica de Potentia*].

Se qualcuno [poi] vuol dare un altro senso alla [parola] "forza" (e in effetti si è abbastanza abituati a confonderla con la quantità di moto) io non voglio discutere sulle parole; perciò lascio agli altri quella libertà, che anche io mi riservo, di definire i termini. Basta che mi si conceda ciò che c'è di reale nel mio sentire, e cioè che si conserva ciò che io chiamo "forza" [energia], e non ciò che altri hanno chiamato con questo stesso nome. Poiché diversamente, la natura non obbedirebbe alla legge della uguaglianza tra l'effetto e la causa, darebbe uno scambio tra due stati [corpi], dei quali l'uno, sostituito all'altro, potrebbe dare il moto perpetuo meccanico, cioè un effetto più grande della causa.

In effetti alla quantità di moto si potrebbe dare anche un'altra interpretazione, tale che questa quantità si conservi; ma non è quella che i Filosofi [come Cartesio] hanno inteso [è l'interpretazione di Newton]. Per esempio, se i corpi A e B viaggiano ciascuno con la propria velocità, allora la quantità di moto totale è la somma [non vettoriale] delle loro particolari quantità di moto, così come l'energia totale è la somma delle loro energie particolari; ed è così che Descartes e i suoi seguaci settari hanno inteso la quantità di moto; per accertarsene, basta vedere le regole del moto date da lui o dagli altri che hanno seguito il suo principio. Ma se per quantità di moto si volesse intendere non il moto preso in [valore] assoluto (quello di quando non si considera da quale parte esso va), ma l'avanzamento verso un certo lato [cioè: direzione e verso], allora l'avanzamento totale (o il moto corrispettivo) sarà la somma delle quantità di moto particolari, [solamente] quando i due corpi vanno dalla stesso lato. E quando essi vanno l'uno contro l'altro, questo [avanzamento totale] sarà la differenza [e non la somma] delle loro quantità di moto particolari. E allora si troverà che si conserva la "*medesima*" quantità di avanzamento [totale]. Ma questo concetto è proprio ciò che non bisogna confondere con la quantità di moto presa nel senso ordinario [cioè: in modulo]. La ragione di questa affermazione sull'avanzamento [totale] è in qualche modo chiara; è ragionevole che, se niente sopravviene dal di fuori, il tutto (l'insieme dei corpi in moto) non si impedisce da solo di avanzare, per quel tanto che faceva. Ma io ne ho dato altrove una dimostrazione esatta [*Dynamica de Potentia*].

E' bene osservare ancora che si può valutare la energia senza far entrare in gioco il tempo. Perché una energia data può produrre [solo] un certo effetto massimo, che essa non riuscirà mai a superare per quanto tempo le si accordi. E una molla, che la si distenda tutta d'un colpo o poco a poco, non solleverà maggior

---

<sup>23</sup> Qui L. fa confusione tra situazione statica e situazione di moto incipiente. La confusione viene da quella in uso nell'analisi infinitesimale, tra lo zero algebrico e il "quasi zero"  $dx$ .

peso ad una altezza fissata; né solleverà più in alto uno stesso peso. E un peso che sale in virtù della sua velocità, o che salga perpendicolarmente, o che salga su un piano inclinato, o anche lungo una linea curva, non arriverà più in alto.

E' vero che la salita obliqua richiede più tempo per arrivare alla stessa altezza, ma essa fa anche più cammino e più deviazioni. Di modo che, per valutare la energia mediante il tempo, bisognerebbe considerare anche tutto il cammino e tutte le deviazioni. Ci si libera da tutto ciò quando si considera il solo effetto che può essere prodotto alla fine di tutte queste deviazioni. E' così, per esempio, che si sa prevedere, senza avere quasi bisogno di dimostrazione o di ragionamento, che il getto di acqua [sotterranea], [quando è] libero da ogni impedimento accidentale, deve zampillare fino a precisamente l'altezza del livello superiore dell'acqua o della [sua] superficie superiore. [Questo avviene] affinché l'acqua possa ritornare, attraverso l'apertura superiore, precisamente nel vaso dal quale essa esce attraverso l'orifizio in basso, e [così] continuare sempre lo stesso gioco con un moto perpetuo fisico; proprio come un pendolo perfettamente libero deve salire precisamente all'altezza da cui è disceso; altrimenti l'effetto intero non sarebbe uguale alla sua causa totale. Ma siccome è impossibile escludere tutti gli impedimenti accidentali, nella pratica questo gioco cessa ben presto; altrimenti questo sarebbe il moto perpetuo meccanico. Pertanto, questa considerazione [della conservazione] ci dà una via breve [senza tempo] per stimare gli effetti una volta date le energie, ovvero le energie dati gli effetti; e [quindi] anche per conoscere le vere leggi della natura [come è questa].

Già ci sono stati alcuni uomini saggi, che hanno trovato con esperienze o ragionamenti particolari, che la quantità di moto non può conservarsi sempre. Ma si faceva fatica ad accettare le loro ragioni, perché si sospettava che fossero false; poiché si era devianti dall'opinione che la quantità di moto è la stessa cosa che la "forza"; o che, quanto meno, le "forze" sono come le quantità di moto, in ragione composta delle masse e delle velocità; e perciò [nella "forza"] un aumento della velocità compensa precisamente una diminuzione della massa. E allora non si poteva comprendere come mai una parte della "forza" potesse andare perduta, senza averla impiegata per qualcosa, o essere guadagnata, senza che sia venuta da qualcosa. Si paragonava la massa ad una quantità d'acqua e la velocità a del sale che si faceva sciogliere in questa acqua; e giustamente si pensava che il sale si diffondeva di più in maggiore quantità d'acqua e di meno in meno acqua; e che poteva anche essere tolto da un'acqua e trasportato in un'altra. Ma io ho già fatto vedere come in ciò si è peccato contro la metafisica reale, e contro la scienza della valutazione delle cose in generale.

Ora che abbiamo stabilito la vera nozione di "forza" e che è stata scoperta la fonte sia dell'errore che la fonte della verità, si sarà più disposti a uscire dalle illusioni. Tutto ciò risulta più ragionevole quando si pensa che il moto è una cosa passeggera, che a rigore non esiste mai, poiché le sue parti [istantanee] non stanno mai insieme. Ma è l'energia (che è la causa del moto) che esiste veramente; cosicché, oltre alla massa, alla posizione e al suo cambiamento (che è il movimento) vi è qualche altra cosa nella natura corporea: cioè *l'energia*. Non bisogna dunque stupirsi se la natura (cioè la saggezza sovrana) stabilisce le sue leggi su ciò che c'è di più reale.