

Bernhard Vinaty

MOTO INERZIALE E MOTO PERPETUO.  
SI IMPLICANO OPPURE SI ESCLUDONO A VICENDA?

La nozione di 'inerzia' appartiene oggi alla meccanica razionale e figura nell'enunciato di un principio che viene così formulato fin dalle prime pagine dei moderni trattati di *Meccanica razionale*: «Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, a meno che non sia obbligato da una forza impressa a mutare tale stato»<sup>1</sup>. Questo assioma della meccanica può esprimersi in forma più breve: «la materia è per se stessa immobile»<sup>2</sup>.

L'enunciato di un assioma deve essere semplice in quanto è richiesto che il suo significato sia perfettamente univoco. Non è questo il caso della legge d'inerzia, che difatti contiene due affermazioni diverse in una:

- l'una relativa ad un corpo in quiete,
- l'altra relativa ad un corpo già animato da una certa velocità.

La prima affermazione è banalissima, perché è comunemente constatata: per mettere un corpo in moto si richiede sempre un qualche sforzo; la seconda affermazione, invece, non proviene dall'osservazione diretta, anzi, sembra contraddetta dall'esperienza volgare, se-

---

<sup>1</sup> A. SOMMERFELD, *Meccanica*, vol. I delle *Lezioni di fisica teorica*, Zanichelli, Bologna 1981, p. 4.

<sup>2</sup> T. LEVI-CIVITA – U. AMALDI, *Lezioni di meccanica razionale*, vol. 1, Zanichelli, Bologna 1974, pp. 335-339.

condo la quale tutti i movimenti non mantenuti con appositi dispositivi tendono ad estinguersi.

A questo punto interviene la considerazione della possibilità di un moto perpetuo prodotto da un congegno motore che lo mantenga permanente.

La situazione epistemologica è caratteristica dei nostri assiomi, i quali comportano una parte concreta, assai aderente alla nostra esperienza immediata, e una parte astratta che prolunga le nostre concezioni ben al di là della percezione.

Confrontiamo l'assioma dell'inerzia in meccanica con il postulato geometrico del parallelismo negli *Elementi* di Euclide: "Due rette che ammettono una perpendicolare comune, indefinitamente prolungate, non si incontreranno mai". Il postulato contiene due definizioni di rette parallele:

- sono parallele due rette equidistanti in tutti i loro punti;
- sono parallele due rette che non si incontrano.

Ora non si può passare dalla prima alla seconda senza commettere una petizione di principio. La prova di questo assunto è illustrata dalla geometria proiettiva, quando quest'ultima asserisce che nessuna contraddizione può essere dedotta dall'affermazione che tutte le rette si incontrano in un punto, sia a distanza finita, sia a distanza infinita<sup>3</sup>.

Precisiamo l'analogia nella storia dei due assiomi:

- non si può escludere logicamente la possibilità, ma l'esistenza di rette parallele rende controintuitivo il caso di rette asintotiche. L'introduzione di elementi infiniti in geometria ha conseguenze paradossali. Il quinto postulato euclideo serve a dimostrare che la somma degli angoli interni di qualunque triangolo vale due angoli retti. È quindi impossibile costruire un triangolo infinito, allorché il parallelismo fonda la similitudine che consiste nella possibilità di riprodurre una figura geometrica in scala arbitraria;
- l'assioma dell'inerzia in meccanica implica l'impossibilità di un moto spontaneo? Ma esclude il moto perpetuo? Frequenti sono gli

---

<sup>3</sup> Questo assunto dell'equivalenza logica fra 'mai incontrarsi' e 'incontrarsi all'infinito' è stato introdotto per la prima volta da Girard Desargues (1503-1662) e dal suo discepolo Blaise Pascal (1623-1662). Nei primi decenni dell'Ottocento si costituirono le geometrie non-euclidee che si possono caratterizzare come geometrie delle figure infinite. Cfr. E. Agazzi - D. Palladino, *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria*, Mondadori, Milano 1978.

esempi dell'incapacità della materia a modificare la propria velocità. Un brusco arresto è impossibile, così come è impossibile mettere un corpo in movimento senza imprimergli un impulso.

Dobbiamo dunque affrontare il duplice problema che ebbe una storia secolare e piena di sinuosità:

- il moto inerziale implica la possibilità del moto perpetuo?
- l'impossibilità del moto perpetuo implica l'impossibilità del moto inerziale?

Ancora quasi un secolo dopo Newton, Kant scriveva «ci sono moti di due specie: quelli che dopo un certo tempo cessano e quelli che persistono»<sup>4</sup>. Nella concezione attuale, i moti che cessano sono moti rallentati fino alla quiete e i moti che cominciano sono moti accelerati che interrompono la quiete.

Dal punto di vista epistemologico due modalità della nostra conoscenza sono particolarmente interessanti:

- 1) il contrasto fra l'aspetto assiomatico del sapere già costituito e l'aspetto storico paradossale del sapere in via di formazione;
- 2) il carattere paradossale delle discussioni che hanno per oggetto l'alternativa della possibilità-impossibilità di processi.

Le premesse si riferiscono sia a fatti percepiti, sia a nozioni concepite. Si passa dai primi alle seconde mediante inferenze che 'condizionalizzano' le conclusioni. La logica dei ragionamenti è la logica dei condizionali che ha per principale forma la funzione implicativa "se... allora..." nella sua duplice modalità fattuale e controfattuale. Da fatti percepiti e costatati si giunge alla possibilità di altri fatti o all'impossibilità di altre eventualità. L'ipotesi è l'enunciato di una condizione che si potrebbe derivare da una asserzione.

Esporremo la storia delle idee relative al moto perpetuo e al moto inerziale, il quale è stato concepito diversamente nell'antichità e nei tempi moderni. Divideremo questa storia in quattro periodi:

- 1) la mobilità e l'immobilità nella cosmologia antica e medievale; l'inerzia come resistenza al moto e alla sua persistenza;
- 2) l'intermezzo secolare del sogno chimerico di una macchina a moto perpetuo;
- 3) la rivoluzione copernicana che prepara una nuova concezione dell'inerzia;

---

<sup>4</sup> I. KANT, *Ueber die wahre Schatzung der lebendigen Kräfte* (1747, *Sulla vera stima delle forze vive*).

4) l'avvento della concezione dell'inerzia come indifferenza dei corpi alla mobilità o immobilità.

*Parte Prima: L'inerzia come resistenza alla mobilità durante l'Antichità e il Medioevo*

I primi sguardi degli uomini verso la volta stellata li hanno persuasi della perfetta ciclicità dei movimenti celesti, che consentì le loro prime misure del tempo. Il cosmo si divide primordialmente in due parti: il mondo celeste e il mondo terrestre o «sublunare»<sup>5</sup>.

#### Mondo celeste

I corpi non oppongono nessuna resistenza alla mobilità, ma allo stesso tempo la loro mobilità è la più perfetta in quanto più affine all'immobilità: difatti i corpi celesti sono animati da orbite circolari.

La perfezione geometrica del circolo e della sfera corrisponde anche alla loro perfezione cosmologica.

La rotazione del cerchio e della sfera si compie senza spostamento.

I movimenti celesti sono perpetui perché uniformi. I moti celesti sono quindi inalterabili e non richiedono la necessità di un motore.

Il moto perpetuo è quindi la prerogativa del mondo celeste.

#### Mondo sublunare

Tutt'al contrario, il moto perpetuo è impossibile nel mondo sublunare; qualunque movimento è transitorio, cioè ha un inizio e una fine.

I corpi terrestri, infatti, posseggono una 'inerzia', ossia oppongono una resistenza alla mobilità.

Bisogna, tuttavia, distinguere nei movimenti, tutti transitori, quelli naturali o spontanei e quelli violenti o forzati.

Le prime riflessioni sull'inerzia non appartengono alla meccanica razionale, la quale non esisteva ancora, bensì alla cosmologia. D'altronde, il nome '*inertia*' non figura nei testi, mentre l'aggettivo '*iners*' è di uso comune e ricorrente. Ha molteplici accezioni: inoperoso, improduttivo, inefficace, infingardo, etc. Precisiamo che le denominazioni delle discipline 'meccanica' e 'fisica' avevano nell'antichità significati differenti dai nostri:

- la 'meccanica' era la scienza empirica delle 'macchine',

<sup>5</sup> ARISTOTELE, *De Coelo*, I, cap. 1-3, 268a10-269b17.

- la 'fisica' consisteva nella scienza dei moti e dei cambiamenti dei corpi materiali soggetti a generazione e a corruzione, cioè a formazione e distruzione, e supporti delle qualità sensibili.

L'inerzia era concepita come "resistenza" al moto, e non si distingueva sotto questo termine

- la resistenza dovuta alla massa, resistenza intrinseca

- e la resistenza estrinseca, dovuta ai contatti, cioè all'attrito.

Riguardo alla prima non si distingueva fra massa e peso. Newton sarà il primo che stabilirà questa distinzione.

Troviamo nei commenti medievali del *De Coelo* di Aristotele i primi enunciati in latino che interessano la nostra questione: «Nul-  
lus motus potest esse perpetuus, nisi motus localis, nec etiam localis, nisi circularis. Potentia quae nunc est in coelo ad durandum non mensuratur certo tempore, sed in infinitum»<sup>6</sup>.

In riassunto, la divisione del cosmo in un mondo celeste, da una parte, e nel mondo terrestre, dall'altra è primordiale.

Nel mondo celeste, il movimento perpetuo, in quanto moto al quale non si oppone alcuna resistenza, è possibile ed effettivo; e quindi non c'è caso di moto inerziale nei cieli, giacché non ci sono contatti fra i corpi celesti orbitanti, e quindi non c'è resistenza per attrito alla loro mobilità orbitale. La prerogativa dei cieli è la perpetua mobilità<sup>7</sup>.

Nel mondo sublunare, invece, il moto perpetuo è impossibile perché a tutti i moti si oppone una resistenza per contatto e per attrito: Tutti i moti terrestri sono inerziali, poiché l'inerzia consiste appunto nella resistenza alla mobilità, come si concepiva allora.

Tutti i moti ed i cambiamenti si dividono in naturali o spontanei e in moti forzati o costretti. I primi non hanno bisogno di una forza esterna al mobile, perché hanno la loro causa nella 'natura' o costituzione del corpo mobile. Inutile cercare la forza motrice delle orbite planetarie, in quanto i pianeti orbitano perché sono pianeti. Un altro archetipo del moto naturale è rappresentato dalla caduta libera dei corpi gravi. La gravità o peso è la propensione naturale

---

<sup>6</sup> *Contra Gentes*, 1, cap. 20; *De Potentia*, q. 5, a 4, im.

<sup>7</sup> «L'orbitazione non ha punto né di partenza, né di arrivo, né punto intermedio, poiché, in assoluto, non ha né inizio, né termine, né medio: nel tempo, infatti, è perpetua, e nella lunghezza ritorna su se stessa ed è senza interruzione», ARISTOTELE, *De Coelo*, II, 6, 288a22-27.

dei corpi gravi a cadere verso il basso per riunirsi nel centro della Terra che è anche il centro delle orbite, e che sta quindi stabile e immobile al centro del cosmo<sup>8</sup>. I moti naturali non soffrono propriamente resistenza, benchè possono presentare ostacoli o vincoli che impediscono il loro esercizio spontaneo. La caduta dei gravi può essere ostacolata da appoggi o da sospensioni.

I moti forzati, al contrario, risultano da impulsi (spinte o trazioni) che debbono vincere una resistenza. L'archetipo dei moti forzati è dato dalla forza muscolare applicata al lancio di proiettili.

Perciò nasce spontaneamente una duplice associazione:

- la prima associa alla forza motrice impulsiva l'impressione di sforzo;
- la seconda, all'esaurimento dell'energia impulsiva, l'impressione di fatica o stanchezza.

L'opposizione primordiale fra i moti naturali e i moti forzati ha un significato principalmente cosmologico. Così viene spiegata l'interpretazione geocentrica della gravità: la prima forza nota, e praticamente la sola, era il peso, i cui effetti antagonisti sono l'abbassamento e il sollevamento. La direzione che governa la contrarietà del leggero e del pesante è la direzione cosmologicamente privilegiata dell'allontanamento e dell'avvicinamento rispetto al centro del cosmo<sup>9</sup>. Nella concezione aristotelica, un movimento naturale è visto come la trasmissione da una virtualità (*δύναμις*) ad una effettività (*ἐνέργεια*), mentre un movimento forzato è il superamento di una resistenza (*ἀνένεργεια*) da parte di una potenza (*δύναμις*).

Qualsiasi movimento non può avvenire se non in un mezzo continuo (acqua, aria, etere). Un'alternativa fu dibattuta a lungo nell'Antichità e nel Medioevo:

- nella filosofia naturale degli aristotelici il vuoto è impossibile perché impedirebbe ogni mobilità;
- nella fisica atomistica di Democrito, che conferisce alle rarefazioni e alle concentrazioni un ruolo preponderante, gli atomi indivisibili<sup>10</sup> si muovono liberamente nel vuoto, che è indispensabile alla mobilità.

Però, a torto lettori moderni hanno attribuito a Democrito il prin-

<sup>8</sup> ARISTOTELE, *De Coelo*, II, 14, 296a24-297a8.

<sup>9</sup> ARISTOTELE, *De Coelo*, IV, 1, 307b25-308b14.

<sup>10</sup> D. O'BRIEN, *L'atomisme ancien: la pesanteur et le mouvement des atomes chez Démocrite*, in «Revue philosophique de la France et de l'Étranger», année 104, tome 169 (1979), pp. 401-426.

cipio d'inerzia che egli avrebbe implicitamente postulato. Difatti, Democrito non accenna ad un moto rettilineo indefinitamente prolungato in virtù di un impulso ricevuto. Crede piuttosto che gli atomi si muovono in virtù di una forza a loro inerente<sup>11</sup>.

Dunque, se si eccettuano gli atomisti greci, era persuasione comune che per mantenere un moto era richiesta la continua applicazione di una forza.

### *Parte Seconda: L'intermezzo secolare del 'Perpetuum mobile'*

Verso il 1150 all'incirca, l'astronomo e matematico indiano Bhâskarâ descrive in un poema didattico una macchina che si muove perpetuamente. Tramite traduttori arabi si diffuse fino all'Occidente latino con una sorprendente rapidità. È l'origine nella meccanica medievale del tema del '*perpetuum mobile*'<sup>12</sup>. Due tratti caratteristici attirano l'attenzione:

1) quel sogno chimerico che ebbe molte forme nei secoli successivi è paragonabile alla conquista mitica del fuoco celeste, della sua riproduzione e della sua conservazione sulla Terra da parte di Prometeo. Si trattava difatti di sapere con quale stratagemma riprodurre le orbite celesti che sono perpetue.

2) tutte le prime macchine di moto perpetuo comportano una ruota circolare. Se la ruota ha la forma della perfetta mobilità, che si manifesta nella rotazione, questa può essere perpetuata sulla terra grazie ad impulsi addizionali di entità trascurabile. L'idea semplicistica consisteva nell'introdurre una minima dissimmetria attorno all'asse della ruota allo scopo di intrattenere la rotazione della ruota.

Inoltre, è interessante rilevare che questi minimi impulsi facevano ricorso alla gravità oppure ad influssi magnetici di piccole calamite metalliche. Infatti, malgrado la separazione del mondo celeste e del mondo terrestre, non erano esclusi influssi del primo sul secondo.

"In coelo sunt duo miracula, scilicet perpetuitas eius, et virtus immutandi totum mundum inferiorem"<sup>13</sup>.

Sono documentate nel Trecento due ruote di moto perpetuo:

<sup>11</sup> D. O'BRIEN, *Democritus, Weight and Size*, Brill, London 1984.

<sup>12</sup> P. COSTABEL, voce "Perpétuel (Mouvement)" in *Encyclopaedia Universalis*, vol XII, 796-797.

<sup>13</sup> Tommaso D'AQUINO, *Commento del Salmo 32, in principio*.

- quella di Villard de Honnecourt, disegnata nel suo *Trattato di Architettura*, composto verso il 1235. La ruota gira senza mai interrompere la sua rotazione attorno all'asse orizzontale, caricata intorno al suo centro di tubicini riempiti a metà di mercurio e inclinati sui raggi della ruota: tale era lo schema di Bâskarâ. Villard de Honnecourt lo modifica, sostituendo ai tubicini, martelletti in numero dispari ed articolati ai vertici di un poligono inscritto nella circonferenza della ruota.

- la seconda ruota, dovuta al compaesano Piccardo di Villard, Pierre di Maricourt, è orizzontale con l'asse verticale. Alla gravità è sostituito il magnetismo. La ruota è cerchiata da una corona di denti in ferro e sta in equilibrio indifferente. Un magnete collocato nel piano della ruota ad una certa distanza dal centro attira i denti l'uno dopo l'altro.

Lo stratagemma in ambedue i casi è altrettanto semplicistico quanto ingegnoso: creare una dissimetria che sia sufficiente ad intrattenere una tendenza a girare perpetuamente.

Il Rinascimento riprese i tentativi di moto perpetuo. Un dispositivo ebbe una fortuna singolare: una corona di sferette su piani ad opposta inclinazione provoca una discesa da un lato e una ascesa dall'altro, che continueranno perpetuamente poiché la causa è sempre la stessa; così le sferette compiranno automaticamente un moto perpetuo. Ma non si giunse mai a passare dall'esperimento mentale ad una prova sperimentale.

I congegni più sottili e raffinati dell'utilizzo dell'energia cinematica furono ideati da Leonardo da Vinci<sup>14</sup> che seguiva la tendenza dei contemporanei. I suoi primi manoscritti contengono un buon numero di schemi di moto perpetuo, con una originalità: Leonardo capì che il problema meccanico del moto perpetuo consisteva nell'oltrepassare i 'punti morti' del moto ordinario.

Eppure si rese conto che i 'punti morti' erano inevitabili e rompevano la continuità del movimento, e concluse, attorno all'anno 1492, che il movimento perpetuo era impossibile.

«Io ho trovato infra l'altre superchie e impossibilità credulità degli omni la ciera del moto continuo, la quale per alcuno è decta perpetua. Questa ha tienuto moltissimi secoli, co'llunga ciera e sperimentazione e grande spesa». Estende successivamente l'affermazione a tutti i tipi di moti meccanici: «Impossibile è che acqua morta sia chagione di suo o d'altro

---

<sup>14</sup> L. DA VINCI, *Manoscritti di Madrid*. Cfr. L. REDI, voce "Leonardo da Vinci Technology", in *Dictionary of scientific biography*, vol. VIII, 1973.

*moto. Qualunque peso sarà apicato alla rota, senza alcun dubbio il centro di tal peso si formerà sotto il centro del suo polo; e nessuno strumento che per umano ingegno fabricar si possa che col suo polo si volti, potrà a tale effecto riparare. O speculatori dello continuo moto, quanti vani disegni in umile ciera avete creati! Acompagnatevi colli ciercator dell'oro»<sup>15</sup>.*

Le ricerche sul moto perpetuo continueranno nondimeno fino ai tempi della prima rivoluzione scientifica. Un episodio accompagnerà la rivoluzione copernicana: l'esperimento con il magnete sferico ruotante. Abbiamo già accennato alla ruota orizzontale di Pietro di Maricourt, meglio noto con il nome di Pietro Peregrino, anche detto 'dominus experimentorum' (il 'maestro degli esperimenti'). Il fatto che l'ago magnetico ruotante punti esattamente al nord confermava, agli occhi di Pietro di Maricourt, che esisteva una stretta connessione tra fenomeni terrestri e celesti. Pietro era dell'opinione che la calamita derivi la sua forza dai poli celesti. Sperava perciò che la 'terrella', piccola sfera magnetizzata, girerà con la Terra, formando così una sorta di orologio astronomico.

Ancora nel *De Magnete*, pubblicato nell'anno 1600, William Gilbert farà uso di calamite globulari che egli chiamerà 'terrella' (μικρόγη), cioè 'piccola terra'. La ragione di questo nome si riconnette con la concezione che la Terra stessa è una calamita. Tale concezione gli permette, con l'aiuto della regola secondo cui poli simili si respingono e poli dissimili si attraggono, di spiegare il fatto che un ago della bussola libero di oscillare indica approssimativamente la direzione nord-sud, ma anche perché gli offre l'opportunità di conoscere qualcosa sul macromagnete, la Terra stessa. Il particolare, il Gilbert pensa che tale concezione spieghi perché la direzione dell'asse della Terra in cielo sia invariabile. La trottola fa il suo ingresso nell'arsenale delle macchine a moto perpetuo<sup>16</sup>.

L'ultima fase, la più tardiva, si svolge in piena rivoluzione scientifica. Ha l'interesse dell'evoluzione verso forme e dispositivi nuovi che abbandonano i vecchi modelli di rotazioni continue. Un progetto di Jacopo Strada nel 1629 propone un circuito di acque che cadono da un bacino superiore in un altro bacino inferiore, dove una

---

<sup>15</sup> C.A. TRUESDELL, *Fundamental mechanics in the Madrid Codices*, in *Leonardo e l'età della ragione*, Ed. Scientia, Milano 1982, pp. 325-332 (pp. 309-319 nel testo inglese). Truesdell cita questo passo del ms di Madrid I, Or alla pag. 328.

<sup>16</sup> W. GILBERT (1540-1603), *De Magnete*, libro II, cap. 6.

ruota con palette fa risalire l'acqua cascante dal livello superiore precedente. La meccanica incipiente dei fluidi introduce l'idea nuova di circuito chiuso ed isolato. La coclea archimedeica, ossia la vite senza fine, viene rimessa in onore.

L'idea direttrice di questi 'perpetuum mobile' è meno banale di quella dei primi 'perpetuum mobile': un piccolissimo cambiamento riproduce la situazione appena precedente, ciò che consente una ripetizione e circolazione indefinite.

Un altro ed ultimo gruppo si ricollega ai moti oscillatori, la cui indagine costituì la grande acquisizione della meccanica del Seicento. La possibilità dell'alternanza di andirivieni in pendoli, bilancieri e pistoni permetteva di far esistere oscillazioni quasi indefinitamente ripetuti, intrattenute automaticamente attorno ad una posizione di equilibrio, senza grande dispendio di energia. La ricerca del moto perpetuo riceveva la sua ultima applicazione in ciò che doveva diventare l'ingegneria dei giroscopi inerziali e in micromeccanica.

Paradossalmente, fu nel tempo che si scoprirono le leggi della periodicità e le reversibilità meccaniche, che si organizzarono le obiezioni teoriche contro il moto perpetuo che sfociarono nel principio dell'impossibilità di un moto perpetuo.

Nel 1586 il matematico ed ingegnere Simon Stevin (1548-1620) stabilisce le condizioni di equilibrio dei corpi gravi su piani inclinati. Ragiona sullo schema della collana di sferette pesanti sospese su due piani ad inclinazione opposta e diversa. I due piani inclinati formano un prisma triangolare, la faccia principale del quale è orizzontale. Qualunque movimento della collana equivarrebbe a rimetterlo esattamente nella posizione delle condizioni iniziali, e il moto sarebbe allora perpetuo. In ciò Stevin vede una conclusione assurda.

Poi Stevin postula l'impossibilità del moto perpetuo per fondare l'intera statica. Se un moto perpetuo fosse possibile, tutti gli equilibri sarebbero impossibili. Tornando allo schema della collana di sferette sospese ai due piani inclinati, Stevin rileva che la verticale che passa dal vertice comune ai due piani inclinati costituisce un asse di simmetria. Se le sferette sono in numero pari, ci sono altrettante sferette a destra e a sinistra dell'asse; se sono in numero impari, la verticale passa dalla sferetta più bassa.

Un punto finale fu segnato nel 1775 dalla decisione dell'Accademia delle Scienze di Parigi, sotto l'influsso di Laplace (1749-1827) di non più prendere in considerazione alcuna comunicazione relativa «alla qua-

dratura del cerchio o ad alcuna annunciata come moto perpetuo»<sup>17</sup>.

*Terza parte: La rivoluzione copernicana prepara una nuova concezione dell'inerzia.*

L'assenza di resistenza spiegava agli occhi degli antichi la possibilità di un movimento perpetuo nei cieli e l'impossibilità di un movimento inerziale persistente sulla Terra. L'astronomia geocentrica risulta in parte dalla mancanza del principio di inerzia così come l'intendiamo oggi. La rivoluzione copernicana sostituì una immagine eliocentrica del mondo a quella geocentrica, a partire dall'intuizione che esisteva un sistema solare. Questa intuizione fu preparata da Nicola da Cusa (1401-1464) che fin dal Quattrocento introdusse nuovi percorsi deduttivi conducenti a due conseguenze:

- 1) è possibile attribuire alla Terra un movimento senza che ce ne accorgiamo;
- 2) le apparenze della mobilità sono otticamente relative.

Riflettendo sull'assunto antico che la perpetuità della rotazione risulta unicamente dalla perfezione della rotondità, il Cusano sviluppa arditamente l'analogia fra il moto della sfera celeste e il pallone lanciato dalla mano dell'uomo su un piano liscio. Scrive: «La sfera è mossa da Dio creatore, cioè dallo Spirito di Dio, come il pallone è mosso dalla mano tua»<sup>18</sup>. Propone il sillogismo seguente:

- più una cosa è rotonda, più facilmente si muove;
- se la rotondità fosse massima, al punto da non poter essere maggiore allora si muoverebbe da sé, e sarebbe motore e mobile allo stesso tempo.

Conseguentemente, «la sfera su una superficie piana uguale, siccome si comporta sempre identicamente, una volta mossa in movimento si muoverà perpetuamente». Siamo sorpresi dal fatto che il Cusano considera come movimento persistente unicamente la rotazione, e non la traslazione rettilinea. Tuttavia, il Cusano vi accenna in modo curioso. Nel gioco che consiste nel lanciare una palla perfettamente rotonda su un piano assolutamente liscio, siccome il con-

---

<sup>17</sup> Cfr. C.P. BRUTER, *Da l'intuition à la controverse*, Paris 1987, pp. 59-61.

<sup>18</sup> N. CUSANO, *Opere filosofiche*, vers. ital. di G. Federici-Vescovini, Utet, Torino 1972, *Il gioco della palla*, pp. 857-929.

tatto della sfera con il piano si riduce a un punto<sup>19</sup>, la rotazione perpetua della sfera tratterà sul piano una retta indefinitamente prolungata. È il primo accenno ad una traslazione perpetua.

Nicola Copernico aveva letto le opere del Cusano. Non si ferma però nel suo *De revolutionibus orbium Coelestium* (1543) sull'argomento dell'inerzia, perché attribuisce ai corpi celesti un movimento naturalmente circolare e ribadisce dunque che tale movimento non può generare effetti centrifughi<sup>20</sup>. Ma la teoria copernicana della mobilità della Terra richiedeva invece come complemento l'idea della relatività del movimento, che è chiaramente affermata dal Cusano. Dà l'esempio del veliero che pur progredendo rapidamente in alto mare, può apparirci immobile, se non vediamo alcun lido.

Copernico, rilevando che i pianeti planetari hanno tutti una componente solare, emette l'ipotesi che questa componente sempre presente nei pianeti si poteva spiegare dal movimento dell'osservatore terrestre. Si poteva dunque ritenere che il Sole fosse una stella e la Terra un pianeta come gli altri pianeti<sup>21</sup>. Nondimeno, né il Cusano né Copernico ricollegavano la relatività del moto ad una qualsiasi concezione dell'inerzia.

Il Cusano aveva vagamente considerato la possibilità della mobilità della Terra, pur restando consapevole che quella supposizione urtava le sensazioni immediate, secondo le quali la Terra è qualcosa di stabile. Ciononostante lasciava intendere che l'osservazione dei fenomeni meccanici non permette di decidere se un corpo è in moto o in quiete.

Copernico cita l'esempio del veliero descritto dal Cusano<sup>22</sup>. Anch'egli rifiuta la testimonianza dei sensi riguardo alla realtà dell'immobilità della Terra. Parla persino di 'mota acqualiter ad ea-

<sup>19</sup> N. CUSANO, *Ibidem*, p. 869.

<sup>20</sup> Copernico espone l'obiezione contro la mobilità della Terra ricavata dagli eventuali effetti centrifughi ne *La Rivoluzione delle sfere celesti*, libro I, cap. 7. Confuta questa obiezione nel cap. 8: «Se qualcuno pensa che la Terra ruota, dirà in ogni caso che il moto è naturale e non violento. E le cose che si realizzano secondo natura hanno effetti contrari a quelle che si realizzano secondo violenza».

<sup>21</sup> Questo assunto appare fin dall'Abbozzo sommario (*Commentariolus*, 1412) del Copernico nella sua affermazione «l'uniformità dei movimenti non va misurata dagli equinozi, ma dal cielo delle stelle fisse» (cfr. *Opere*, vers. ital. di F. Barone, p. 113).

<sup>22</sup> COPERNICO, *La Rivoluzione delle sfere celesti*, libro I, cap. 8, vers. ital. di F. Barone, Utet, Torino 1979, p. 199.

dem', cioè di moti nella medesima direzione, dando da intendere che, se l'osservatore e l'oggetto osservato non hanno lo stesso movimento, siccome c'è uno spostamento relativo, allora la mobilità diventa manifesta<sup>23</sup>.

Era quindi normale che le ulteriori riflessioni sulla relatività dei moti associata alla considerazione dell'inerzia avessero sempre rimandato al riferimento siderale di origine copernicana. I movimenti nei cieli sono individuati grazie ad una struttura di riferimenti che ha la sua origine nel centro di massa del sistema solare e tre assi che passano per tre stelle fisse.

Johannes Kepler (1571-1680), il grande teorico dell'astronomia copernicana, fece giocare un ruolo importante all'inerzia nella nuova astronomia che egli battezzò 'Fisica celeste', titolo rivoluzionario, perché nel tolemaismo così come nell'aristotelismo, questa denominazione era contraddittoria 'in terminis'. Solo il mondo terrestre aveva una fisica<sup>24</sup>

Il Keplero fu il primo ad usare 'inertia' come sostantivo, ma conservava l'accezione tradizionale: «è inerte ciò che resiste al movimento». Tradizionalista da un lato, era moderno e rivoluzionario da un altro: Keplero abbandonava l'idea che i moti planetari fossero 'naturali' e riteneva che fossero persistenti perché intrattenuti da una forza motrice emanata dal sole e impressa nei pianeti. Sosteneva che un pianeta si fermerebbe immediatamente in qualunque punto della sua traiettoria se il sole cessasse di agire.

Sorprendentemente le idee kepleriane erano ancora più lontane dalla nostra concezione dell'inerzia che il movimento circolare naturale di Aristotele e di Copernico. Eppure innovavano su tre punti:

1) Keplero distrugge la vecchia contrapposizione dei cieli e della terra, ponendo l'esistenza di una fisica celeste, così come c'è una fisica terrestre, ed inoltre sono identiche;

2) riteneva che qualunque moto avesse la sua causa in una forza motrice, ciò che sollevava la domanda 'A quo moventia' per i pianeti. Non si poteva più accontentarsi di rispondere: i moti planetari

---

<sup>23</sup> Cfr. R. KLIBANSPEY, *Copernic and Nicolas de Cusa*, in *Leonard de Vinci et l'expérience scientifique du XVI s.*, Parigi 1953.

<sup>24</sup> J. KEPLER, *Astronomia nova*, 'Αιτιολογήτος seu physica coelestis, tradita in commentariis de Motibus stellae Maris, Heidelberg 1609.

<sup>24</sup> J. KEPLER, *Astronomia nova*, 'Αιτιολογήτος seu physica coelestis, tradita in commentariis de Motibus stellae Maris, Heidelberg 1609.

hanno la loro origine nella natura dei pianeti<sup>25</sup>, corpi celesti;

3) correlativamente, Keplero concepisce la gravità come una attrazione mutua, dunque una forza estrinseca, e non più una tendenza intrinseca.

Pur conservando l'accezione tradizionale di inerzia, Keplero era arrivato ad un passo da una concezione nuova. Perché Keplero si era fermato nel dire «se cessasse un attimo la forza motrice del sole, allora si arresterebbero i pianeti sulla loro orbita»? Perché non aveva detto «continuerebbero a muoversi in linea retta lungo la tangente alla loro traiettoria nel punto in cui fosse cessata l'azione motrice del sole»? La ragione è semplice: gli mancava la nozione chiara di forza centrifuga.

In dinamica, Keplero aderiva alla dottrina dell' "impeto impresso", destinata a spiegare la persistenza temporanea dei moti forzati, particolarmente dei proietti. Questa dottrina, sorta nel Quattrocento, deviava notevolmente dall'aristotelismo ortodosso. Nondimeno aveva finito per imporsi come sviluppo legittimo della scolastica aristotelica.

Come un proietto separato dal suo motore può mantenere il suo moto durante un certo tempo? L'impeto impartisce a un corpo messo in movimento uno slancio che si esaurisce come una sorta di sforzo muscolare soggetto a stanchezza<sup>26</sup>

*Quarta parte: La riforma della nozione di inerzia. Indifferenza alla mobilità o all'immobilità*

Comunque, i tempi erano ormai maturi per riformare l'idea di inerzia nei primi anni del Seicento.

I moti naturali erano spariti: alla filosofia detta 'naturale' succedeva la meccanica 'razionale', scienza pura dei movimenti. Galileo osserva che la meccanica razionale è redatta in caratteri geometri-

---

<sup>25</sup> A. KOIERÈ, *La rivoluzione astronomica. Copernico, Keplero, Borelli*, a cura di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 1966, pp. 157-162.

<sup>26</sup> Nella dottrina medievale dell' "impeto", lo slancio comunicato dal proietto è impresso in esso e viene paragonato sia al riscaldamento, sia all'impressione di sforzo e di stanchezza.

ci<sup>27</sup>.

Sebbene il vuoto barometrico non avesse ancora realtà sperimentale, lo spazio geometrico poteva essere concepito come vuoto, a differenza dello spazio fisico riempito di corpi e diviso secondo gli stati della materia in diverse regioni. La geometrizzazione dello spazio percettivo diventa allora la prospettiva costitutiva della meccanica razionale. L'astrazione della resistenza dell'aria e degli attriti per contatto consentiva di dare una spiegazione delle proprietà meccaniche che si manifestano diventando qualità sensibili della materia elementare.

L'indagine dei moti rinunciava alla distinzione fra moti naturali e moti forzati per rimettere in primo piano i moti accelerati e i moti rallentati. Ci sono dunque leggi universali dei moti che sono indipendenti dall'origine animata o inanimata di questi movimenti. Galileo fonda la meccanica razionale su tre affermazioni generali:

- 1) tutti i moti generati dalla gravità sono discese uniformemente accelerate, le velocità acquisite delle quali dipendono unicamente dalla lunghezza dell'abbassamento verticale dei mobili;
- 2) la velocità del moto uniforme orizzontale si conserva;
- 3) tutti i moti compongono le loro velocità, in modo che, quando due moti si congiungono, non si impediscono l'un l'altro e possono dunque essere considerati separatamente.

Esaminiamo ora i percorsi inferenziali che condussero ad enunciare il principio di inerzia che trasformò la concezione dell'inerzia.

La seconda giornata del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* ci fornisce l'occasione di ricostruire le tappe dell'itinerario di Galileo.

- 1) Non si tratta di dimostrare la rotazione della terra, bensì di affermare che, se la terra è mobile, il suo eventuale movimento deve essere impercettibile. «Sia dunque il principio della nostra contemplazione il considerare che qualunque moto venga attribuito alla terra, è necessario che a noi, come abitatori di quella ed in conse-

---

<sup>27</sup> Il celebre passo del *Saggiatore* (1623): «La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua, e a conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intendeme umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto» (ed. Nazionale, vol. VI, pp. 231-233; ed. Feltrinelli, p. 38).

guenza partecipi del medesimo, ci resti del tutto impercettibile e come s'è non fusse, mentre noi riguardiamo solamente alle cose terrestri»<sup>28</sup>.

2) L'eventuale impercettibilità del movimento implica una relatività che va ben al di là delle apparenze ottiche, ma si applica anche all'assenza di interazioni meccaniche. «Il moto in tanto è moto, e come moto opera, in quanto ha relazione a cose che di esso mancano, ma tra le cose che tutte ne partecipano e egualmente, mentre opera ed è come se non fusse: e così le mercanzie delle quali è carica la nave in tanto si muovono, in quanto, lasciando Venezia passano per Corfù, per Candia, etc. restano né si muovono con la nave; ma per le balle, casse ed altri colli, de' quali è carica e stivata la nave, e rispetto alla nave medesima, il moto da Venezia in Soria è come nulla, e niente altera la relazione che è tra di loro, e questo perché è comune a tutti ed ugualmente da tutti è partecipato»<sup>29</sup>.

3) Il principio della relatività galileiana è dunque l'ininfluenza del moto comune. Corpi che condividono lo stesso movimento sono senza interazione tra di loro.

4) Galileo passa ai moti lungo piani inclinati. Sganciato, un mobile scenderà con velocità accelerata; costretto a risalire, risalirà alla medesima altezza dalla quale è disceso, con velocità rallentata. Ma se il mobile raggiunge un piano orizzontale con una qualche velocità acquisita, siccome non c'è più causa di accelerazione, né di rallentamento, continuerà il suo movimento conservando la sua velocità. Un movimento né declive, né acclive, sarà uniforme. «Salviati: Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi? Simplicio: Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china. Salviati: Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?»<sup>30</sup>. Rispetto al centro dei gravi, il centro della Terra, la superficie che non sale e non scende, non è un piano ma una superficie sferica. Poiché Galileo definisce il movimento inerziale come il movimento uniforme di un mobile che non è più soggetto alla gravità,

<sup>28</sup> G. GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, a cura di L. Sosio, p. 141 (ed. Nazionale, vol. VII, pp. 139-140).

<sup>29</sup> G. GALILEI, *Ibidem*, p. 143 (ed. Nazionale, vol. VII, p. 142).

<sup>30</sup> G. GALILEI, *Ibidem*, pp. 180-181 (ed. Nazionale, vol. VII, p. 173).

né per sollevamento né per abbassamento, si deve allora concludere che nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi* Galileo non ammetteva come movimento inerziale non solo un movimento uniforme rettilineo, ma anche un moto circolare.

5) Nella quarta giornata dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Galileo compì un passo avanti decisivo: analizzando il moto dei proiettili come il risultato della composizione continua di due movimenti fin dall'uscita della bocca del cannone:

- l'impulso dello sparo che imprime al proiettile un moto a velocità elevata, astrazione fatta di tutte le eventuali resistenze (dell'aria, in particolare), questa velocità è uniforme;
- il peso del proiettile provoca la sua libera caduta verticale, appena è uscito dal cannone.

Appare evidente che l'impulso di proiezione è all'origine di un movimento inerziale nella direzione del tiro. Il movimento inerziale non è più legato all'orizzontalità; anzi, il moto inerziale è un moto senza resistenza, che conserva la sua velocità uniforme indefinitamente, in assenza di qualsiasi forza esteriore. Il moto inerziale ha per modello il moto uniforme<sup>31</sup>.

L'itinerario inferenziale seguito da Descartes è di tutt'altro tipo. Egli formulò il principio d'inerzia per la prima volta verso il 1620, dandogli la forma di un principio astratto universale di conservazione. Descartes applica la sua riflessione all'opposizione del moto e della quiete, della mobilità e della immobilità. Comincia con il rilevare che gli enunciati relativi all'inerzia si dividono in due parti:

- l'una riguarda la quiete: un corpo in riposo vi persisterà fin a quando una causa non ne modificherà lo stato;
- l'altra riguarda il moto: un corpo mosso da una causa qualunque persevererà in linea retta in questo moto a velocità uniforme.

Ora Descartes fece un'osservazione che non l'abbandonerà negli sviluppi ulteriori del suo pensiero: occorre una eguale quantità d'azione per mettere un corpo in moto e per fermare il moto acquisito, per mantenerlo in moto o per mantenerlo in riposo.

Descartes è convinto del carattere relativo del moto, che egli definisce come spostamento di un corpo che modifica la sua vicinanza

---

<sup>31</sup> G. GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, giornata IV, a cura di A. Cargo e E. L. Geymonat, pp. 291-355 (ed. Nazionale, vol. VIII, p. 268-314).

rispetto ad altri corpi. Si potrebbe pensare che priva così di ogni valenza ontologica l'opposizione fra movimento e quiete. Questa supposizione viene tuttavia smentita dal suo modo di riattaccare i fondamenti della meccanica razionale alla metafisica ossia filosofia prima e persino alla teologia.

Nella seconda parte dei *Principi di filosofia*, Descartes enuncia la 'prima legge della natura' in questi termini: «Ogni cosa, in quanto semplice e indivisa, per quanto sta in essa, rimane sempre nello stesso stato, senza mai mutare, se non per cause esterne. Il tal modo, se qualche parte della materia è quadrata, ci convinceremo facilmente che rimarrà perpetuamente quadrata, a meno che non avvenga che alcunché fuori di essa ne muti la figura. Se è in quiete, non pensiamo che inizierà mai a muoversi a meno che non sia spinta a farlo da qualche causa. Se poi è in moto, non v'è nessuna più forte ragione che ci porti a pensare che interromperà mai spontaneamente, senz'essere impedita da alcun'altra cosa, quel suo moto»<sup>32</sup>.

Possente speculativo, Descartes, contrariamente, non accenna alle circostanze osservabili che sembrano dare torto alla geometrizzazione dei movimenti. Presenta il concetto di moto inerziale come pura deduzione dell'immutabilità divina. «Da questa stessa immobilità di Dio si può pervenire a certe regole o leggi della natura che sono cause seconde e particolari dei diversi movimenti che osserviamo nei singoli corpi»<sup>33</sup>.

Per rendere giustizia al pensiero cartesiano e non vedervi un appello estrinseco ed irrilevante alla teologia naturale, conviene affermare qual è l'oggetto della sua ricerca: qual è il fondamento della causalità meccanica? Come si comunicano i movimenti? Descartes si ispira a due convinzioni: a) non c'è alcuna mobilità nella quale non si conserva un invariato; b) la causalità è riconducibile ad una identità attraverso trasformazioni nel tempo.

Perciò il principio cartesiano di inerzia stabilisce la perpetuità del

---

<sup>32</sup> R. DESCARTES, *Opere filosofiche*, vers. ital. a cura di E. Lojacono, Utet, Torino 1994, vol. II, p. 126. *I principi della filosofia*, seconda parte, cap. XXXVII. Cfr. anche cap. XXVI: «Non si richiede più azione per il moto che per la quiete», p. 117; cap. XXVIII: «Il trasporto si compie dalla prossimità dei corpi contigui alla vicinanza di altri, ma non da un luogo all'altro», p. 118.

<sup>33</sup> R. DESCARTES, *Ibidem*, cap. XXXVII: ((La prima legge della natura: ogni cosa, per quanto è in sé, rimane sempre nello stesso stato; sicché una cosa, una volta mossa, continua sempre a muoversi)), pp. 125-126.

moto inerziale in quanto uniforme: a) perché conserva la grandezza della velocità scalare; b) perché conserva la direzione della velocità, e quindi il moto inerziale ha per traiettoria la velocità indefinitamente prolungabile.

«Ogni parte della materia, considerata separatamente, non tende mai a perseverare nel suo moto secondo linee torte, ma soltanto secondo rette, anche se molto spesso sono costrette a deviare dall'incontro di altre»<sup>34</sup>.

Descartes apre l'era durante la quale le leggi meccaniche e fisiche si esprimeranno sotto forma di principi di conservazione. A Descartes dobbiamo il principio di conservazione della velocità e il principio di conservazione della quantità di moto.

Isaac Newton (1642-1727) coronerà la prima rivoluzione scientifica con i suoi *Principia mathematica philosophiae naturalis* (1684) grazie all'approccio assiomatico della meccanica razionale. I tre postulati sui quali Newton la fonda, applicati alle forze che esistono nella natura, permetteranno di identificare le proprietà variabili e le quantità conservate nei processi nei quali tutto il resto è modificato. Newton dedurrà i tre principi di conservazione della quantità totale di moto, la conservazione del momento cinetico globale, la conservazione dell'energia.

Newton fu il primo ad instaurare il principio di inerzia a titolo di primo assioma dell'intera meccanica<sup>35</sup>.

L'assiomatizzazione della meccanica razionale, lungi dal concludere la storia del principio di inerzia, ha rilanciato le indagini sull'inerzia. In linea di massima, i tre assiomi newtoniani della meccanica razionale dovrebbero non soltanto non contraddirsi ma inoltre essere distinti ed indipendenti. Ora questa esigenza non è completamente soddisfatta nell'assiomatica newtoniana, perché possiamo rilevare due casi di deducibilità di uno dei tre assiomi dagli altri.

Da un lato Newton inserisce il principio di inerzia nella dinamica. Giustapposto al principio dinamico dell'accelerazione, la legge d'inerzia diventa un caso particolare deducibile dal secondo assio-

---

<sup>34</sup> R. DESCARTES, *Ibidem*, cap. XXXIX: «La seconda legge della natura: ogni movimento è di per sé rettilineo», p. 127.

<sup>35</sup> L. NEWTON, *Principi matematici della filosofia naturale*, vers. ital. a cura di A. Pala, Utet, Torino 1965, vol. 1, p. 113.

ma dinamico quando la forza esterna si annulla. Quindi la legge d'inerzia appare sovrabbondante in quanto si riferisce alla sola assenza di forze esterne.

Si può, tuttavia, invertire il rapporto dei due assiomi: il primo esprime l'aspetto statico del movimento inerziale uniforme, mentre il secondo enuncia la stessa legge nel caso più particolare del moto uniforme cessante e del movimento accelerato incipiente e generato da una forza.

La difficoltà segnalata dalla parziale equivalenza dei due primi assiomi scompare quando essi vengono riuniti in un 'principio di inerzia generalizzato': «In ogni istante il movimento di un corpo avviene come se questo sia lasciato muovere a partire da uno stato di quiete (moto incipiente), purché i corpi che influiscono sul movimento non subiscano alcuna modificazione»<sup>36</sup>.

Dall'altro lato il terzo assioma che enuncia la reciprocità dell'azione e della reazione in meccanica è una conseguenza deducibile dai primi due assiomi. Questa reciprocità meccanica costituisce la forma fondamentale della composizione delle forze<sup>37</sup>, la quale è fondata sul postulato che esiste una risultante quando parecchie forze vengono applicate insieme ad un corpo. Nel caso dell'inerzia, non c'è né azione, né reazione, né interazione, giacché l'assenza di forze esterne caratterizza l'inerzia. Il movimento inerziale è puro spostamento o trasporto, senza contatto né vincolo. È un'astrazione.

Il vincolo di due punti materiali per mezzo di un filo inestensibile, la cui resistenza è indipendente dalla natura del filo, rappresenta il caso della composizione più elementare di due forze. Le tensioni alle due estremità del filo sono eguali e allineate in due sensi opposti. Il filo servirà a vincolare le due estremità; però, finché il filo non sarà allungato, non interverrà alcuna forza.

Con l'intervento di forze si esce dall'inerzia, sicché l'enunciato più generale del principio di inerzia potrebbe essere "non c'è azione senza interazione". Quando passiamo dalla meccanica del punto materiale a quella dei corpi, questi ci appaiono come sistemi di pun-

---

<sup>36</sup> L'obiezione che la prima legge è soltanto un caso particolare della seconda, è stata particolarmente sviluppata da Ernst MACH in *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, vers. ital. a cura di A. D'Elia, Boringhieri, 1977, pp. 280. 287. Il punto di vista opposto e l'espressione del 'principio di inerzia generalizzato' sono dovuti a F. ENRIQUES e U. FORTI, *Principi di filosofia naturale, teoria della gravitazione*, Roma 1925.

<sup>37</sup> I. NEWTON, *Principi...*, cit., vol. 1, pp. 115.117.

ti materiali vincolati. Le reazioni interne al sistema realizzano l'equilibrio o quiete. In generale, se si fa compiere a un sistema uno spostamento virtuale, a partire da una posizione di equilibrio, il corrispondente lavoro virtuale è nullo. La legge newtoniana di azione e reazione costituisce così il punto di passaggio dalla meccanica del punto alla meccanica dei sistemi.

Infine, riappare la distinzione fra forze interne e forze esterne. Queste ultime sono 'forze impresse' di origine fisica, mentre le prime sono reazioni vincolari, ossia 'forze di origine geometrica'.

L'estensione della meccanica razionale alla meccanica celeste coronava la rivoluzione copernicana con l'attrazione universale, principio del 'sistema del mondo', introdotta da Newton come il primo esempio di azione a distanza. Mentre prima si ragionava sulle azioni a contatto, la situazione si capovolge. Laddove risulta impossibile ogni azione a contatto, cioè nelle attrazione e nei movimenti planetari, la reciprocità dell'azione e reazione viene meglio verificata<sup>38</sup>. La meccanica celeste ridava al principio d'inerzia un significato cosmologico che aveva perduto.

### *Conclusioni*

Abbiamo ripercorso il cammino che ha portato alla successione di tre concezioni dell'inerzia: 1) l'inerzia intesa come resistenza alla mobilità; 2) l'inerzia come indifferenza alla mobilità o all'immobilità; 3) l'inerzia intesa come supposizione dell'assenza di vincoli.

Il moto inerziale è il movimento puro in quanto è il solo che sia perfettamente uniforme nella grandezza e nella direzione della sua velocità. È il moto perpetuabile perché non ha ragione di essere accelerato né ritardato. La sua esistenza contraddice l'impossibilità del moto perpetuo? No, perché esiste astrattamente; è concepibile in condizioni che rendono impossibile la sua realizzazione.

Il confronto della filosofia delle scienze con la storia delle scienze sulla genesi dei principi si fa sulla base della domanda "risultano da induzioni empiriche o da deduzioni razionali?". I filosofi usano la distinzione "sono asserzioni a posteriori o asserzioni a priori?". La storia delle scienze porta a rispondere né l'una né l'altra, perché la

---

<sup>38</sup> I. NEWTON, *Principi...*, il libro terzo è intitolato "Sistema del mondo".

distinzione è troppo drastica, più chiara che distinta. Senza ipotesi, le scienze sarebbero senza storia. Strumento del lavoro di ricerca, l'ipotesi è polarizzata dalla verità, la quale ha due poli: a) l'oggettività, ossia la conformità alla realtà da una parte; b) la coerenza dei nostri pensieri in un solo pensiero, dall'altra.

Al termine dell'itinerario che ha condotto all'attuale principio di inerzia, si potrebbe riformularlo sotto forma quasi tautologica: «un corpo infinitamente lontano da tutti gli altri corpi resta assolutamente fisso se la sua velocità iniziale è nulla, oppure descrive una linea retta se è animato da una velocità iniziale»<sup>39</sup>. In altri termini, il moto assoluto di un elemento materiale infinitamente lontano da tutti gli altri è rettilineo ed uniforme.

Correlativamente, l'impossibilità del movimento perpetuo enuncia che nessun moto può avvenire assolutamente isolato, perché il movimento è relativo ad una vicinanza che richiede contatti con altri corpi. Ne conseguono deviazioni rispetto alla linea retta e perdite energetiche.

Queste tautologie non si riducono a convenzioni indispensabili. Ernst Mach nella sua magistrale opera *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, scrive: «Comprendiamo come sia impossibile fare astrazione dal resto dell'universo anche nel caso più semplice, in cui apparentemente si prende in esame soltanto l'interazione di due masse. La natura non comincia dagli elementi costretti a fare. Per noi è una gioia quando possiamo distogliere lo sguardo dal misterioso tutto e fissarlo sul particolare, ma non dobbiamo tralasciare mai di correggere e completare le nostre idee, mettendole a confronto con ciò che provvisoriamente avevamo lasciato inesplorato. [...] Abbiamo chiarito che non è necessario riferire la legge d'inerzia a uno spazio assoluto. Ma il comportamento cinematico e dinamico delle masse è determinato dalla distribuzione della materia nell'universo»<sup>40</sup>.

Un principio meccanico, come qualunque altro principio, ha un valore universale. Ma l'universalità ha un duplice significato: logico e cosmologico. La storia degli assiomi meccanici presenta perciò un aspetto paradossale. Oscilla costantemente fra due prospettive, l'una logica: sono veri e propri 'truismi', cioè verità del tutto ele-

<sup>39</sup> P. PAINLEVE, *Les axiomes de la mécanique. Examen critique*, Alcan, Paris 1909, p. 23.

<sup>40</sup> E. MACH, *La meccanica...*, cit., p. 252.

mentari, al punto di apparire banali; l'altra cosmologica: sono verità globali e 'intere' che abbracciano la totalità delle cose.

Dal punto di vista della logica, l'inerzia è l'astrazione di un moto concepito come completamente isolato; dal punto di vista cosmologico, è inerziale ciò che è infinitamente lontano. Paul Painlevé ricollegava i due punti di vista mediante questo commento: «la possibilità del moto inerziale e perpetuo è tanto più esatta quanto esso è più isolato dagli altri movimenti»<sup>41</sup>.

Diventa ora chiaro perché la relatività del moto ha avuto un ruolo così importante nella scoperta della legge dell'inerzia. Terminiamo lasciando la parola a Christian Huygens: «Essi hanno forse considerato che sarebbe assurdo dire che lo spazio è in movimento ed hanno per questo concluso che è immobile, mentre avrebbero dovuto dire che né la quiete, né il movimento possono essere attribuito a questo spazio infinito, ma solo a due corpi o, ma impropriamente, allo spazio, in quanto esso è occupato o racchiuso dal corpo. [...] Ma, essi diranno, se si suppone che nel mondo ci fosse un solo corpo, non potrebbe essere in movimento? Rispondo: quel corpo non può nemmeno essere in quiete, perché moto e quiete sono relativi, e nello spazio infinito non c'è nulla con cui avere relazione, se non ci sono altri corpi. Se io domando in che cosa consisteranno la quiete o il moto di questo corpo unico, essi non hanno altro da rispondere se non che esso manterrà o cambierà il proprio luogo nello spazio del mondo. Ma se non c'è nulla che determini l'identità di luogo in questo spazio, come si è detto, non ci sarà nemmeno cambiamento di luogo»<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> P. PAINLEVE, *Les axiomes...*, cit., p. 22.

<sup>42</sup> *Codex Hugeniorum 7A*, frammento 11, riprodotto in *Penetralia motus. La fondazione relativistica della meccanica di Christian Huygens con l'edizione del Codex Hugeniorum 7A*, La Nuova Italia, Firenze 1993, p. 259.