

## NOTA IN MARGINE

### “IN HAC PHILOSOPHIA...”: DIVAGAZIONI SU UN MOTTO

Italo Scardovi

0. - Nell'invitare la tipografia a rinnovare, da questo fascicolo, l'immagine esterna della nostra rivista ponendo in copertina il sigillo dell'“Alma Mater Studiorum”, in armonia con le recenti disposizioni accademiche sulle pubblicazioni periodiche di proprietà dell'ateneo bolognese, ho sentito tornare un remoto e mai sopito rovello: la questione del motto.

Come è noto, gli statistici bolognesi hanno da gran tempo la presunzione di fregiarsi (o così credono) di un passo dei *Principia* newtoniani, e lo esibiscono nell'atrio della loro sede universitaria non meno che sulla copertina di STATISTICA. Chiunque abbia dato un'occhiata alla nostra rivista o abbia varcato la soglia dell'Istituto di Statistica (ora Dipartimento di Scienze Statistiche) dell'Università di Bologna si è imbattuto infatti in questo ermetico aforisma: “In hac philosophia leges deducuntur et redduntur generales per inductionem”. E se, su STATISTICA, la frase non è attribuita ad alcuno, così da potersi pensare (ma non era questa l'intenzione) a una massima *ad hoc*, nell'ingresso dell'Istituto, sotto quelle dieci parole in grandi caratteri bronzei è sempre apparso, nei lunghi anni e nelle varie sedi, un nome, e che nome: Newton.

Quel motto ci accompagna da quasi mezzo secolo. Venne ripreso — è da credere — dal frontespizio della *Filosofia della statistica* (1826) di Melchiorre Gioia, ove già aveva subito una prima contraffazione; e venne — spiace dirlo — ulteriormente e incomprensibilmente storpiato. Se gli aggiustamenti di Gioia non avevano alterato più di tanto il senso dell'asserto newtoniano, ben diverso esito aveva avuto la successiva ricopiatura.

Nello “Scholium generale” aggiunto alla seconda edizione dei *Philosophiae naturalis principia mathematica*, quella del 1713, e conservato nella successiva, la versione autentica recita così: “In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis et redduntur generales per inductionem”. Gioia si era accontentato di mettere “leges” al posto di “propositiones” (e non è cosa da poco, nel lessico dei *Principia*) e di cambiare in -oe il dittongo -ae; i suoi successori, purtroppo, hanno osato di più, trascrivendo un enunciato assai diverso, stravolto nel significato dalla soppressione dell'ablativo in cui Newton si richiama ai fenomeni. Si dirà che una siffatta dichiarazione di fede empirista — resa enigmatica dall'elegante antinomia — non trova sempre riscontro ideale nell'opera scientifica di quel genio: ma tutto ciò non ha niente a che vedere con

la veridicità del brano (°).

Un falso, dunque: una curiosa e più che disinvolta parafrasi. Ne sono consapevole da tempo; e negli anni avevo sempre umilmente pensato di rendere, prima o poi, il dovuto al grande Isaac, senza però riuscirci. Quando mi toccò la direzione dell'istituto e, successivamente, quella della rivista, mi proposi di ripristinare la verità; ma poi mi ritenni. Dovetti accorgermi di quanto sia difficile, per molti, abbandonare un'abitudine radicata, di come ci si affeziona, di giorno in giorno, anche (e soprattutto) agli errori, quasi da non poterne fare a meno. E in virtù di questo principio — che regge tanta parte dell'umano: dai sistemi politici ai matrimoni — la citazione infedele e, quel che è peggio, impropria del passo dello "Scholium" newtoniano è rimasta, tra noi, com'era.

Perché si sia preferito sopprimere il singolare accostamento tra deduzione e fatti (e l'appello a questi sarebbe caduto assai a proposito in casa statistica) è faccenda oscura. Più che ricercarne le ragioni, forse banali, mi piace trarre da quel "deducuntur ex phaenomenis" — quasi una contraddizione in termini — un qualche spunto di riflessione metodologica. In questo intento, mi permetto di riprendere, qui, alcune considerazioni svolte, l'anno passato, in un Convegno internazionale newtoniano e discusse, più recentemente, all'Accademia delle Scienze di Bologna.

1. - Nello "Scholium generale" che conclude il "Liber tertius" della "Editio Secunda Auctior et Emendatior" dei *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Cantabrigiae, MDCCXII) Isaac Newton sembra volersi liberare in un colpo solo di alcune questioni filosofiche sollevate anche da certe dispute sulla prima edizione dei *Principia*, apparsa ventisei anni prima. In tre pagine e mezza, le ultime di una trattazione di 484 pagine, per tacer degli indici, quel gigante riassume, con taglio aforistico, il suo pensiero metodologico nella speranza di sgombrare il terreno della ricerca scientifica da ogni compromissione metafisica. E proprio nell'ultima pagina, al penultimo capoverso, consegna ai posteri una sorta di rompicapo epistemologico racchiuso in questa frase: "In hac Philosophia Propositiones deducuntur ex Phaenomenis, & redduntur generales per Inductionem". (Un enunciato che resterà immutato nella terza e definitiva edizione, del 1726, con la sola scomparsa delle maiuscole nei sostantivi). Cosa intende, Newton, per "deducuntur ex phaenomenis"? Non è forse espressione ambigua, quasi un non senso logico? Chi vada a leggerci attentamente i *Principia*, con animo libero da pregiudizi "tassonomici", può cogliervi i tratti di una sug-

---

(°) Me n'ero accorto una trentina di anni or sono leggendo, per la prima volta tutta intera, una copia della terza edizione dei *Principia*, quella del 1726; e subito ne avevo fatto cenno al direttore e fondatore della rivista, Paolo Fortunati, il quale rispose di aver accolto un suggerimento del Pietra. Nel saggio "I contributi degli italiani al progresso della statistica" (Società Italiana per il Progresso delle Scienze, 1939) Gaetano Pietra aveva scritto: "Ma non possiamo qui tralasciare di citare fra i maggiori Melchiorre Gioia, che alla sua filosofia della statistica aveva posto per motto quello newtoniano: In hac philosophia leges deducuntur et redduntur generales per inductionem".

Accennando, otto anni fa, su questa stessa rivista, all'incredibile svarione, scrissi (STATISTICA, 1981, 1): "Bastava sollevare la copertina della prima edizione del libro di Gioia (ché nella successiva il motto sparirà) per accorgersi della grossolana contraffazione. Quello trascritto dal Pietra non è, infatti, né il brano di Newton, né il brano che Gioia ha riportato". (A dir vero, Gioia s'era concessa un'altra licenza, aggiungendo tra parentesi, dopo philosophia, l'aggettivo "experimentalis". Ma è peccato veniale: anche Newton accosta le due parole un rigo più in alto).

gestiva risposta.

In quell'opera sublime, un metodologo non trova soltanto il romanzo matematico della gravitazione. Trova una lezione — esemplare, coinvolgente — di ragionamento sulla natura. E un'occasione quasi unica per rivedere l'eterna dualità concettuale di concreto e astratto, di empirico e teorico, di induttivo e deduttivo: alternative che attraversano la storia del pensiero e trovano nella scienza e nel suo metodo una composizione gnoseologica. Alternative che certa facile aneddotica ama impersonare in Cartesio e in Bacone, raffigurando il primo intento a scrivere sotto le coltri, al caldo di un'enorme stufa, il suo elegante *Discours*, il secondo a immergersi nella neve per provare su un pollo il fenomeno della refrigerazione, fino a buscarsi l'infreddatura che gli sarà fatale. In questa curiosa allegoria termica (ma anche Cartesio morirà per il freddo) è abbozzata l'antitesi di razionalismo e realismo, di teoria ed esperienza, e insieme la duplicità intellettuale del pensiero scientifico e del metodo statistico: che sono, ad un tempo, astrazione e osservazione, "logos" ed "empeiria".

Come giocano, nei *Principia*, momento logico e momento empirico? Ecco un primo, grande motivo di interesse per l'addetto al metodo. Che tuttavia sbaglierebbe di grosso se, imitando le più risapute cronistorie, pretendesse di ripercorrere l'itinerario di pensiero di Isaac Newton per apporvi etichette, per forzarlo in codificazioni convenzionali, per trovarlo in contraddizione con certe ubbie nominalistiche. La scienza, la scienza che scopre e che avanza, si fa beffe delle catalogazioni da museo. Offre — per restare al "grande secolo" — un Boyle, che sembra trarre la sua legge dei gas da una tavola di dati numerici di compressione dell'aria, e un Galileo, che sperimenta a più riprese il modello della caduta dei gravi e aspetta più di trent'anni per enunciare il principio dell'accelerazione invariante; che sembra procedere a volte per semplici acquisizioni da ridurre in "sensate esperienze", a volte per vie esclusivamente aprioristico-deduttive da esplicitare nelle "matematiche dimostrazioni". Nell'autentica ricerca scientifica, razionale ed empirico, ideale e reale, non ammettono configurazioni contrapposte. Così in Newton. Ma nemmeno, a ben guardare, nelle figure eponime alle quali s'usa intitolare quell'antinomia piuttosto manichea.

Newton può sembrare, in molte pagine, perso nella deduzione formale (un logico cartesiano, allora?), in altre, calato nei fenomeni a misurare e ordinare (un empirista baconiano, allora?), in altre ancora, intento a reiterare e variare le prove di laboratorio, a ragguagliare gli assunti teorici agli esiti sperimentali, a porre le idee al vaglio dei fatti (uno sperimentatore galileiano, dunque?). Ma pure a Galileo capitava a volte di battere vie del tutto empiriche, e a volte di rinchiudersi nel ragionamento ipotetico-deduttivo: lo si direbbe qui un cartesiano e là un baconiano, se la troppo comoda antitesi tra i due aggettivi non s'infrangesse sulla realtà di un Bacone intento a sviluppare assunti *a priori*, e di un Cartesio proteso a cercare prove fenomeniche, soccorsi sperimentali. Bando, dunque, alle categorie mummificanti.

Nei *Principia* c'è astrazione matematica e c'è osservazione. C'è soprattutto spirito galileiano. L'esperimento galileiano non è riproduzione della realtà naturale: è riduzione della realtà ad artefatto; non il fenomeno concreto (sempre contingente, sempre irripetibile), ma una sua schematizzazione limite: dal modello meccanico della pallina che ruzzola lungo un piano inclinato al modello astratto del grave ideale che cade in un vuoto ideale; dalle masse planetarie che

orbitano attorno al Sole a un sistema di punti euclidei che si attraggono. Newton procede per osservazioni ed esperimenti e ne trae conclusioni coerenti, modellate sulle misure. Non si nasconde i rischi del ragionamento induttivo, essenziale all'investigazione del mondo, e dichiara la sua speranza di poter derivare tutti i fenomeni naturali dalle leggi meccaniche del moto <sup>(1)</sup>, e insieme di decifrare il linguaggio della natura: di una natura che "... suole essere semplice e conforme a sé". E su questo assunto dà il paradigma di una filosofia naturale deterministica destinata a dominare incontrastata fino quasi alle soglie del secolo ventesimo.

2. - Come Galileo, Newton vede nell'universo un grandioso enigma matematico da decifrare; come Galileo, vede corrispondere alle relazioni tra luoghi geometrici relazioni tra eventi naturali. E, come Galileo, sperimenta ingegnosamente. Anche il suo esperimento è, ad un tempo, osservazione e astrazione; è riduzione di un fenomeno ai suoi invarianti, riassunzione di questi in una formula. E', in una parola, simulazione. "Newton - scriverà Einstein - traeva facilmente i concetti dall'esperienza, dai giocattoli sperimentali di cui sapeva avvalersi con inarrivabile abilità".

La legge di gravitazione non è il risultato di una "inductio per enumerationem simplicem ubi non reperitur instantia contradictoria" ("res puerilis" nelle tesi del *Novum Organum* baconiano), e nemmeno una rivelazione matematica apparsa in sogno per diventare l'"antecedente" di una asserzione causale da sviluppare e controllare. Certo, Newton passa attraverso dati quantitativi, così come sviluppa il "conseguente" sulla falsariga del canone ipotetico-deduttivo. Ma la legge - la proposizione che regola il ricadere dei sassi e l'orbitare dei pianeti disegnando coniche pappiane in spazi euclidei - viene prima di tutto da una ardita intuizione: non dal semplice accostamento di numeri e di fatti, anche se di quei numeri e di quei fatti svela la ragione matematica, l'interna e nascosta semplicità meccanica.

Da un'ordinata raccolta di dati non sarebbe mai venuta quella legge dell'inverso del quadrato che è, ad un tempo, una relazione tra numeri e tra corpi materiali; in una parola: tra grandezze, ossia corpi resi numeri. Si legge nella prefazione ai *Principia* (datata 8 maggio 1686): "... il compito fondamentale della filosofia naturale è di argomentare a partire dai fenomeni". "Partire" dai fenomeni, non "fermarsi" ai fenomeni; e nemmeno evincere la legge per compendio automatico dei dati d'osservazione secondo le regole banali di un empirismo ingenuo. La legge è sintesi dei fatti, ma non sorge dal semplice accostamento dei dati di fatto. A questi si confronta, poi, nel momento della prova. Il raccordo sintattico e semantico tra esperienza e ragione - che è dialettica, conscia e inconscia, di idea e dato - è, prima, nell'immaginazione audace, nell'intuizione geniale, nella fantasia creativa (il momento meno facilmente riducibile a canoni e regole: il momento della scoperta, della libera intelligenza,

<sup>(1)</sup> Nella prefazione alla prima edizione dei *Principia* (1687), premesso di aver "... particolarmente approfondito i collegamenti della matematica con la filosofia", scrive: "Mi piacerebbe poter giustificare (...) i fenomeni della natura con i principi della meccanica, perché ho molte buone ragioni per sospettare che essi siano basati sull'azione di certe forze...".

quella che pone le grandi domande rivelatrici); ed è, poi, nel raffrontarsi al reale, nel riflettersi sugli eventi: il momento della prova e della disprova, il momento del metodo, del vaglio critico. E, sempre, pensiero e fatti: pensiero sui fatti.

Si considerino, fra i tanti, gli esperimenti descritti nel libro secondo dei *Principia*, sulle oscillazioni dei pendoli; si vedano i teoremi, i lemmi, le proposizioni sui fluidi e gli esempi sulla resistenza del mezzo, discussi in apposito scolio intorno ai corpi che cadono nell'acqua e nell'aria; e si mediti la ricorrente, testuale conclusione: "la teoria s'accorda con i fenomeni". E sempre il rifiuto di addurre alcunché di estraneo alle evidenze quantitative. Così anche negli "esperimenti mentali", come l'analogia tra la Luna e un sasso ruotante legato a un filo, o la riduzione del moto reale dei corpi al moto ideale delle loro immagini puntiformi; e soprattutto nella rigorosa analisi dei dati: le misure, le grandezze, hanno un ruolo essenziale nei *Principia* quanto nel *Dialogo* di Galileo, quanto nella *Astronomia nova* di Keplero. E come, senza la mediazione di un Galileo, spazi e tempi reiteratamente misurati non sarebbero diventati il primo principio della dinamica, e senza l'analisi di un Keplero i numeri di Ticone e di Longomontano non si sarebbero risolti nelle tre leggi della meccanica celeste, così ci voleva un Newton per trarre da quegli enunciati e dalle tante evidenze fattuali la più icastica e la più venerata delle leggi scientifiche: la legge che tutto unificava e connetteva, dal moto dei pianeti a quello delle bilie, dalle maree alle comete. Sintesi di idea e dato, di ragionamento e misura. Newton risolve metodicamente, come già Galileo, l'incontro di teoria ed esperienza in un sistema di rapporti quantitativi tra eventi, di rapporti meccanici tra grandezze. Non la pura costruzione matematica astratta, bensì la ricostruzione matematica del concreto.

Quanto giochi il "logos" e quanto l'"empeiria" nello scoccare dell'ipotesi, quanto sia intuizione improvvisa, sogno avventuroso, e quanto esplicazione di una realtà, è sempre difficile dire. Si sa che Newton — genio solitario e scontroso — rimuginò, abbandonò, riprese la sua idea di gravitazione universale; si sa quanto osservò e calcolò. Quasi quanto fu necessario a Galileo per convincersi della legge di caduta nel vuoto. E non meno di lui fu a lungo turbato da esitazioni e da dubbi. Momento deduttivo e momento induttivo si alternano e si compongono indissolubilmente. Ma in che senso Newton intende il dedurre e l'indurre? Non nel senso che s'userà anettervi poi, e forse nemmeno in quello attribuito da Aristotele ai due canoni inferenziali.

In verità, non v'è ricerca di scienza naturale che non sia insieme induzione e deduzione, e ne è prova, nell'analisi newtoniana, il dialogo a distanza tra reale e razionale, tra dati e teorie. Dalla sua grande legge Newton ha saputo dedurre le leggi di Keplero; ma, ugualmente, aveva dedotto quella da queste (dalla terza soprattutto). Si legge nei *Principia*: "(...) dalla legge di Keplero dei tempi periodici dei pianeti, che sono in ragione di 3 a 2 delle loro distanze dai centri delle loro orbite, ho dedotto che la forza che trattiene i pianeti nelle loro orbite dev'essere come il quadrato delle loro distanze dai centri intorno ai quali ruotano; e per mezzo di questo ho confrontato la forza richiesta per trattenerne la Luna nella sua orbita con la forza di gravità alla superficie della Terra e trovato che sono approssimativamente uguali".

Dall'assunto di un'architettura matematica dell'universo — l'eco della fede

platonica in una natura geometrica, unitaria e coerente — viene il postulato dell'invarianza, immanente e trascendente, dei rapporti di grandezza nel reale, su cui Newton appoggia le sue generalizzazioni. Che sono induzioni, in quanto vanno per analogia da fenomeno a fenomeno, e sono insieme deduzioni in quanto riconoscono identità quantitative e formali tra condizioni fisico-geometriche. "Deducuntur ex phaenomenis" vuol dir anzitutto questo: che la risultante nel piano di due forze combinate, una centripeta e una centrifuga, su un oggetto mobile attorno a un oggetto fisso che l'attrae in ragione dell'inverso del quadrato della distanza non può non descrivere un'ellisse.

3. - In Newton, la congruenza tra teoria e osservazione, tra matematica e misura, è a fondamento di una visione unificante, insieme astratta ed empirica, razionale e quantitativa: ed è il sostegno dell'inferenza a tutta la natura. Anche Keplero aveva esteso l'orbita ellittica di Marte a tutti i pianeti aventi il Sole in uno dei fuochi; anche Galileo aveva generalizzato a qualunque grave lanciato la traiettoria parabolica di un proiettile. Induzione? Deduzione? E' la newtoniana "deduzione dai fenomeni", in cui pare talvolta di riconoscere i tratti dell'"abduzione": quella sottospecie di deduzione non dimostrativa, di ragionamento sui fatti, che Peirce derivava dall'*ἀπαγωγή* aristotelica.

Se non avesse universalizzato la legge — una legge matematica — a tutta la materia, e ad ogni sua parte, deducendo dai fenomeni (ma il fenomeno non è il semplice accadimento: è l'evento idealizzato, tipizzato; non i corpi fisici, le masse planetarie, bensì i punti euclidei dei loro centri), come avrebbe potuto, quel genio, ricondurre a un unico grandioso sistema il cader delle mele e l'orbitare dei pianeti? Come avrebbe potuto unificare due paradigmi intellettuali fino allora separati e lontani: meccanica terrestre e meccanica celeste, dinamica galileiana e astronomia kepleriana?

E' incontestabile che Galileo, Keplero, Newton siano partiti da realtà fisiche: ma quante esperienze e quanti calcoli, quanti interrogativi e tentativi per ridurre i fenomeni in sistemi concettuali, per darne le leggi: per giungere al principio dell'accelerazione costante; per scoprire che i pianeti percorrono orbite ellittiche aventi il Sole in uno dei fuochi, che il raggio vettore tra Sole e pianeta copre aree uguali in tempi uguali, che il quadrato del tempo di rivoluzione è proporzionale al cubo del semiasse maggiore; per concludere che due corpi si attraggono in virtù di una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra i due centri.

La sequenza euristica va dunque dal concreto all'astratto e dall'astratto al concreto. Il salto inventivo è nella semplificazione e nell'analogia: nel considerare un pianeta come un grave lanciato e nel determinare l'equilibrio tra la forza che lo trattiene dal cadere sulla sua stella e quella che lo trattiene dall'uscire per la tangente; è nel vedere modellisticamente i corpi in gioco come masse puntiformi gravitazionali, nell'idealizzare il percorso geometrico di un punto materiale soggetto a certe forze: l'ellisse, appunto, cui Keplero era giunto dal "planum oviforme" dopo aver scartato, con difficoltà, il cerchio. Da quella soluzione teorica viene la geometria del movimento dei pianeti e la legge matematica che lo governa. In quanto formalizzata, la legge va oltre il con-

testo su cui s'è sperimentata. E Newton l'estende all'intero sistema: un sistema che sembrava non lasciare residui irrisolti, un sistema unitario e matematico retto in ogni sua parte da un'unica formula, esplicativa di ogni coerente conseguenza logica: la massa del Sole, la precessione degli equinozi, l'appiattimento della Terra, l'andare e venire delle maree, l'apparire delle comete.

Legando il moto di un corpo con l'azione di un corpo lontano, quella legge — la legge di una forza di cui Newton non vuol dare spiegazioni metafisiche ("hypotheses", nel suo gergo) ma soltanto l'espressione matematica — diventa il paradigma della concezione meccanicista: una concezione universale alla quale non si riconosceranno, in astronomia, per oltre due secoli, limiti di validità. Calcolata la velocità angolare della Luna e l'accelerazione di gravità sulla Luna, concluso che la gravità terrestre decresce secondo l'inverso del quadrato della distanza dal centro della Terra, Newton attribuisce questa proprietà a tutti i corpi materiali dell'Universo e conclude che tutti i gravi si attraggono secondo quella legge. Induzione analogica o deduzione assiomatica?

Newton, a dir vero, usa il verbo *deducere* con una certa libertà. Il suo argomentare è un procedere per inferenze logiche mediate dall'esperienza. Egli scrive indifferentemente di principi dedotti da eventi e di eventi dedotti da principi; "deduce" da leggi come da fatti sperimentali, da modelli matematico-meccanici come da misure fisiche. Sono i fenomeni, le loro relazioni, le loro leggi quantitative, la premessa e il contenuto di certe analogie formali. L'analogia è induzione, ma Newton vi annette una necessità, una coerenza fisica e matematica, che la fa apparire come lui la considera: un'inferenza certa.

"Deduce", quindi, dai fenomeni in quanto riduce le regolarità naturali a relazioni matematiche, le connessioni tra eventi a connessioni tra concetti. Su una siffatta trama formale ritiene possibile — sono sue parole — "investigare le forze della natura a partire dai fenomeni del moto e dimostrare gli altri fenomeni a partire da queste forze" (2). Non è solo inferenza analogica, e, in quanto tale, generalizzante, ma anche sintesi di eventi osservati. Quanto attiene al "deducuntur ex phaenomenis", e quanto al "redduntur generales per inductionem"?

Non è facile distinguere. Nel costrutto teorico di Newton talune connessioni sono "materie di fatto" e insieme "relazioni di idee", per dirla alla Hume. Quando si siano ridotti i fatti ad artefatti, le grandezze a simboli matematici, il reale percepito a reale simulato, le inferenze che se ne traggono sembrano avere, insieme, la dimostratività della deduzione e l'ampliatività dell'induzione. A una condizione, naturalmente: che quella matematica sia la matematica della natura. Altrimenti, il ritorno dall'astratto al concreto presuppone un implicito postulato di invarianza empirica destinato in quanto tale ad infrangersi su di un famoso ammonimento scettico — che Newton sembra presagire — circa il distinguo tra ragionamento e abitudine, tra valore logico e valore psicologico di un'inferenza: "Il contrario di ogni materia di fatto è sempre possibile".

La terza delle "regulae philosophandi" con cui s'apre quel "Liber tertius"

---

(2) Spiega al punto 10 del "liber primus": "Sperimentai con la maggiore accuratezza possibile tali analogie in corpi di diverso genere che si trovano sulla nostra Terra (...) Ho provato la stessa esperienza con pendoli d'oro, d'argento, di vetro, di sabbia, di sale comune, di legno, d'acqua...".

che costituisce la novità della seconda edizione dei *Principia*, è appunto un atto di fede nell'uniformità matematica della natura. Suona così: "Le qualità che non possono essere aumentate o diminuite e quelle che appartengono a tutti i corpi sui quali è possibile sperimentare devono essere ritenute qualità di tutti i corpi". Trattandosi di proprietà invarianti dei singoli oggetti, e perciò di enunciati "totalitari", Newton va sicuro nel codificare un canone di ricerca, nel generalizzare induttivamente il principio della gravitazione universale. "Se dagli esperimenti e dalle osservazioni astronomiche — scrive — risultasse come fatto costante che i corpi vicini alla superficie terrestre pesano sulla Terra secondo la quantità della loro materia, che la Luna è pesante verso la Terra in ragione della propria quantità di materia, che a sua volta il nostro mare è pesante verso la Luna, e che tutti i pianeti sono pesanti l'uno rispetto all'altro e che anche la pesantezza delle comete verso il Sole è la stessa, da questa terza regola si potrebbe trarre la conclusione che tutti i corpi gravitano vicendevolmente gli uni verso gli altri". Così, dal fatto costante del pesare dei corpi osservati<sup>(3)</sup>, l'uno rispetto all'altro, Newton deduce una proposizione che rende generale attribuendola per induzione a tutti i corpi.

"Deducuntur ex phaenomenis" ha per Newton valore semantico e sintattico insieme. Non l'inferenza sillogistica e apodittica, ma l'inferenza analogica: l'inferenza della scienza che conquista nuova conoscenza. Non il riassunto banale e automatico dei fatti, bensì l'induzione, che è insieme deduzione, da rapporti matematici tra eventi tipizzati.

4. - Senza un implicito assunto di isomorfismo tra sistema solare e geometria euclidea, tra matematica e realtà, Newton non potrebbe sviluppare coerentemente la sua filosofia naturale e asserire che ogni proposizione formale deve rinvenirsi nei fenomeni, trovare giustificazione in un problema. E' la coerenza interna dello strumento matematico a consentirgli di pensare il concreto in termini astratti. E quando gli serve una matematica delle variazioni per la sua meccanica di movimenti, inventa genialmente, e tiene per sé, il "metodo delle flussioni" (il calcolo differenziale) e delle "flussioni inverse" (il calcolo integrale). E adotta quella nuova matematica, non per sostituirla alla fisica, non per farne una metafisica di valori astratti — arte cabalistica tra magia e astrologia — bensì per avvicinare il linguaggio della natura, di una natura oggettiva e quantitativa.

Nella rigorosa geometria del "Liber primus" e del "Liber secundus" (insieme compongono il *De motu corporum*) è data la formalizzazione di un modello

(3) Nel primo libro, dei *Principia*, al punto 10, Newton analizza i rilevamenti astronomici di Tolomeo, Copernico, Haveling, Keplero, Riccioli, Tycho e tanti altri, e conclude: "Possiamo dedurre che la forza circumterrestre decresce in proporzione al quadrato delle distanze..." Al punto 46, dopo aver esposto una serie di osservazioni: "Che così avvengano le cose, lo deduco dalle tavole delle maree che Flamsteed stese, basandosi sul maggior numero possibile di osservazioni". Al punto 73, "Esaminai le questioni deducendo approssimativamente le velocità dalle distanze, e le distanze dalla parallasse e assieme dai fenomeni della coda".

Mentre i primi due libri hanno impostazione squisitamente matematica, il "Liber tertius" ha contenuti fisici. Di questo libro scrive testualmente nell'introduzione: "Ibi enim, ex phaenomenis caelestibus, per propositiones in libris prioribus mathematice demonstratas, derivantur vires gravitatis quibus corpora ad solem et planetas singulas tendunt. Deinde ex his viribus per propositiones etiam mathematicas deducuntur motus planetarum, cometarum, lunae et maris".



ordinato e razionale: il modello di un sistema coerente che dà certezza alle induzioni generalizzanti e dà creatività alle deduzioni. La Natura sta a quei simboli come una sinfonia sta al suo spartito. Che rivestisse le sue geniali intuizioni con abilità di eccelso matematico, che la matematica fosse il linguaggio della dimostrazione più che lo strumento della scoperta, non per questo si deve vedere in lui, come vorrebbe Keynes, "l'ultimo dei maghi" piuttosto che il "rappresentante dell'età della ragione". Il suo metodo — misuratorio e analitico — è il metodo dello scienziato. Che è anzitutto negli ingegnosi artefatti sperimentali: quelle soluzioni-limite che non piacevano a un Goethe, insofferente del quantitativo (come Schopenhauer e tanti altri) e fiero nel rimproverare alla scienza, a Newton in particolare, di scomporre riduttivamente i fenomeni naturali, di non osservare la luce all'aria aperta, ma di studiarne un raggio sottile filtrato da una fessura nel buio di un laboratorio. Ciò che rendeva insoddisfatti proprio coloro (Leibniz fra questi) che lo tacciavano di "meccanicismo ateo" e che invece avrebbero dovuto compiacersi del suo distinguere il "come" dal "perché", la fisica dalla metafisica, la matematica dalla teologia; e così faranno i naturalisti romantici, pronti a far colpa alla scienza di aver ucciso il mondo poetico di Dante e di Milton, e a respingere l'immagine di un mondo naturale ridotto — come Oken avrebbe scritto — a "urti e colpi".

Su quell'immagine, tutto un sapere crescerà per due secoli come esplicazione del "sistema": dalla meccanica dei solidi al moto dei fluidi, alla vibrazione dei corpi elastici; così l'acustica e l'idrodinamica si dirameranno dalla meccanica. E, prima fra tutte, l'astronomia, dove il valore esplicativo e predittivo della teoria newtoniana avrebbe celebrato, nel tempo, i suoi maggiori trionfi: deduttivi e induttivi, logici ed euristici. Quel sistema teorico svelava realtà ancora sconosciute, scoperte matematicamente a tavolino, come l'esistenza di corpi celesti non ancora apparsi ai telescopi.

Ma ogni legge ha il suo dominio di validità, ogni sistema è un sistema: non *il* sistema. Se l'anomalia orbitale di Urano aveva "suggerito" la scoperta del pianeta Nettuno, la precessione del perielio di Mercurio obbligava, invece, a cambiare sistema: a concepire una nuova meccanica, una nuova geometria, una nuova filosofia naturale. Se, nel secolo dei Lumi, Kant aveva potuto affermare che la teoria di Newton andava al di là di tutte le osservazioni, se, in pieno Ottocento, Helmholtz aveva potuto scrivere: "Capire un fenomeno vuol dire ricondurlo alla legge di Newton", nel nostro secolo si comincerà a riguardare quella meccanica come un caso particolare, al divergere della velocità della luce ( $c \rightarrow \infty$ ), di un nuovo paradigma fisico.

Di più: già nel secolo XIX la ricerca si imbatteva in fenomeni in cui, nelle "parti", non si riflettono le leggi del "tutto". Per ricondurli al grande paradigma meccanicistico si dovevano riguardare queste ultime come esiti macroscopici di processi statistici: così nell'agitazione termica, così nella disintegrazione atomica. Ad una fisica di oggetti che cadono nello spazio di Newton spinti dalla gravità, si veniva accostando una fisica di eventi che cadono nel tempo di Boltzmann, spinti dalla probabilità; ad una fisica di accadimenti univoci, necessari, certi, si veniva sostituendo una fisica di processi ribelli a ogni determinismo individuale. Entrava allora nella scienza, con l'idea di un divenire, l'intuizione di una accidentalità immanente; e una nuova metodologia doveva concilia-

re la rassicurante causalità del macromondo con la irriducibile casualità del micromondo. Era stato Pierre Simon de Laplace — che del determinismo aveva fatto un grandioso paradigma concettuale — a dare assetto coerente agli assiomi di una nuova matematica, il calcolo delle probabilità, donde avrebbe tratto i suoi strumenti intellettuali una nuova scienza, statistica e probabilistica. Se Laplace aveva giustificato le probabilità come un sussidio provvisorio ai limiti epistemici della mente umana, una nuova fisica e una nuova biologia faranno delle leggi statistiche e degli assunti probabilistici un più generale canone di metodo e una rinnovata concezione della natura.

Il pensiero scientifico si risveglierà bruscamente dal suo lungo sogno deterministico, dall'illusione di un mondo fisico antropomorfo, meccanico e causale.

5. - Torniamo a Newton. Egli non resta del tutto indifferente alle dispute filosofiche del suo tempo. Ne fanno fede le aggiunte che appaiono nelle successive edizioni dei *Principia*, ove s'intravede una crescente e sofferta preoccupazione metodologica e s'avvertono le suggestioni empiriste, non meno che razionaliste, tra le quali si svolge la sua avventura intellettuale ed umana (ancorché quel gigante non sembri accodarsi — al di là delle dichiarazioni di principio — a nessuna di queste tendenze). Nello "Scholium generale", fatti i conti con la teoria cartesiana dei vortici e sbrigate alcune preliminari faccende teologiche (chiusa con un elegante "Et haec de Deo") (4), Newton si addentra nelle questioni di metodo delineando una sorta di manuale di comportamento dello scienziato della natura. Potrà sembrare datato, ed è invece attualissimo. E non soltanto per la tesi — che ispirerà tutta una scienza, tutta una filosofia — di un pensiero razionale intento ad attestare il come, a misurare gli eventi, a evincere leggi quantitative, a verificare modelli. (Werner Heisenberg vedrà appunto distinguersi la scienza moderna da quella antica per tre tratti caratteristici: "perché pone enunciati quantitativi al posto di enunciati qualitativi, perché riconduce fenomeni differenti a una medesima origine e perché rinuncia a chiedersi il perché").

Nella terza edizione dei *Principia* (1726), compare, improvvisa, una quarta "regula philosophandi". Che recita così: "Nella filosofia sperimentale, le proposizioni tratte dai fenomeni per induzione, nonostante le ipotesi contrarie, devono essere considerate vere quanto più possibile, fino a che qualche altro fenomeno le renda più precise o provi che sono soggette a eccezioni". Segue il lapidario avvertimento: "Così deve essere fatto affinché l'argomento dell'induzione non sia eliminato da ipotesi". ("In philosophia experimentali, propositiones ex phaenomenis per inductionem collectae, non obstantibus contrariis hypothesisibus, pro veris aut accurate aut quamproxime haberi debent, donec alia occurrerint phaenomena, per quae aut accuratiores reddantur aut exceptionibus obnoxiae. Hoc fieri debet ne argumentum inductionem tollatur per hypotheses"). Le ipotesi, appunto. Intese come un pericolo per le proposizioni in-

(4) "Et haec de Deo; de quo utique ex phaenomenis differere, ad philosophiam experimentalem pertinet. Hactenus phaenomena caelorum et maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi (...). Et satis est quod gravitas revera existat et agat secundum leges a nobis expositas et ad corporum caelestium et maris nostri motus omnes sufficiat".

dotte dai fenomeni: un richiamo, posto in fondo al capitolo con un solo rigo e mezzo di commento, che sembra tradire un sopraggiunto ripensamento epistemologico.

In questa "regula" aggiunta, Newton scrive dunque di "propositiones ex phaenomenis per inductionem collectae", da ritenere provvisoriamente vere. Non di meno, il testo che fa seguire è il medesimo delle precedenti edizioni: anche il brano in cui si attribuisce alla "filosofia sperimentale" (qui volta in "naturale": ed è l'unico ritocco) il compito di dedurre le proposizioni dai fenomeni. Ha scritto Albert Einstein: "Se volete imparare qualcosa dai fisici sui metodi che essi impiegano, non ascoltate i loro discorsi ma attenetevi alle loro azioni". In effetti, Newton sembra aver suggerito quel canone più per accontentare qualche sapiente con il quale non amava scendere in discussioni, che per intima convinzione metodologica: tant'è che nella "praefatio" a questa "editio tertia aucta et emendata" si dilunga ad elencare tutte le novità, anche minime, rispetto alla precedente edizione, e tuttavia non fa alcun cenno all'aggiunta di una nuova "regula philosophandi".

Nell'ultima pagina del libro, al penultimo capoverso, si legge: "Non ho ancora potuto dedurre dai fenomeni la ragione di tali proprietà della gravità, e non invento ipotesi. Perché tutto ciò che non può essere dedotto dai fenomeni è un'ipotesi; e le ipotesi, sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche, non hanno posto nella filosofia sperimentale (5). In questa filosofia, le proposizioni sono dedotte dai fenomeni e sono rese generali per induzione". ("Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, hypothesis vocanda est; et hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu mechanicae, in philosophia experimentalium locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur generales per inductionem").

Eccoci giunti al passo donde eravamo partiti. E' la frase che conclude la dichiarazione contro le ipotesi; che, presa alla lettera, sembra negare l'intero impianto teorico della fisica newtoniana: una apparente preoccupazione empirista, di cui proprio i primi due libri dei *Principia* costituiscono una chiara smentita. Quella frase, si sa, va intesa nel suo contesto, culturale e lessicale. La scienza — si legge fra le righe dello "Scholium" — può conservare la sua dignità e la sua autonomia dalle dottrine e dalle ideologie totalizzanti soltanto attenendosi all'oggettività quantitativa degli eventi, alle loro proprietà matematiche; non deve pretendere di spiegare il "quia" arcano dell'universo, bensì darsi alla definizione coerente delle sue leggi: leggi scientifiche in quanto capaci di ricondurre ad un unico modello concettuale e formale una molteplicità di fenomeni diversi. In questo spirito, Newton dichiara di non sapere cosa sia la forza di gravità e di non voler inventare ipotesi (6).

(5) E nell' "Index rerum" rimanderà alla pagina in cui figura questo brano, l'ultimo dell'intero volume, con le parole: "Hypotheses cuiuscunque generis rejiciuntur ab hac philosophia".

(6) In una lettera a Bentley, del 1693, scrive di non pretendere di sapere quale sia la causa della gravità e di essere pago di definirne le proprietà matematiche. E al punto 71 del "Liber primus" afferma non essere compito dello scienziato stabilire la causa delle cose naturali.

Usa dunque la parola in una sua particolare accezione: "ipotesi" è per lui ogni asserto non riconducibile ai dati del reale, a grandezze matematiche. Spirito di osservazione, abilità sperimentale, capacità d'astrazione, estro analogico, rigore formale, cultura critica — doti possedute, tutte, in sommo grado — lo portavano a diffidare di ogni congettura non coerente con un sistema teorico, di ogni sistema teorico non riconoscibile nella oggettività quantitativa dei fenomeni. Eppure, proprio l'opera di Newton è un prodigioso sviluppo di ipotesi, di geniali ipotesi (7). Quale più grande ipotesi della gravitazione? E quale ipotesi più azzardata, per i tempi, di quella della corpuscolarità della luce?

E ci sono ipotesi esplicite e ipotesi implicite. Implicita, nei *Principia*, è l'ipotesi di una natura semplice e invariante, matematica e meccanica, disciplinata da un'unica grande legge modellata sui fenomeni. E tuttavia Newton ne aveva dubitato per anni (dal 1665 al 1682) quando i dati quantitativi sembravano smentirla. Se la sola raccolta degli enunciati osservativi non poteva condurre, di per sé, alla relazione matematica che li trascende, il contrasto tra l'ipotesi e i dati sperimentali — il "modus tollens" — metteva in crisi la legge: il valore, dedotto dal modello, della deflessione lunare contrastava con le misure offerte dagli astronomi. In questo subordinare i concetti ai fatti, Newton è scienziato galileiano. E quando Picard mostrerà che tali misure erano fondate su calcoli errati della circonferenza terrestre e darà valori più corretti, in accordo con la legge, Newton ritornerà sulla sua formula e dopo lungo meditare si risolverà a proporla come modello matematico universale: assai più di un compendio automatico di eventi misurati, quella formula andava al di là dell'osservato. Newton la riferiva infatti a tutte le particelle dell'universo.

Se le orbite dei pianeti, le maree, le comete erano conferme empiriche della legge, non meno del cader delle mele, come pensare di comprendervi anche l'attrazione tra piccole porzioni di materia? Donde traeva Newton la fede — matematica ed empirica — nella universalità della sua teoria? Deduzione coerente o induzione audace? Dovevano passare più di settant'anni perché la bilancia a torsione di Cavendish provasse e misurasse l'attrazione orizzontale tra due sfere metalliche. In questo contesto, la legge matematica della gravitazione è un'autentica ipotesi di ricerca soggetta alle confutazioni sperimentali. E Newton la teneva per tale, se è vero che l'aveva abbandonata — onestà sperimentale di scienziato della natura, che non vuole inventare spiegazioni "ad hoc" — appena l'oggettività di un dato fisico, ancorché inesatto, pareva falsificarla. Un'ipotesi a tutti gli effetti, dunque: una felice ipotesi esposta alla sfida dei fatti.

6. - Quando scriveva di voler spiegare la realtà "mediante la ragione e gli esperimenti", Newton dettava una sorta di codice morale delle scienze sperimentali. Identiche parole scriverà Einstein due secoli più tardi, in tema di metodo della scienza, configurando ragionamento ed esperienza come momenti inscindibili della ricerca.

Tante cose sono cambiate dai tempi di Newton a oggi: ma non quel canone.

(7) Anche, è ovvio, di ipotesi destinate a rivelarsi infondate: tale è, ad esempio, l'assunto di invarianza rispetto ai colori del rapporto tra gli indici di rifrazione di due lenti.

Che è il canone di Galileo. E ragione vuol dire anzitutto ipotesi, sebbene Newton chiami ipotesi ogni concetto empiricamente o teoricamente non fondato. Ma è soltanto questione di glossario. Non è forse un'ipotesi il pensare Terra e Luna come punti geometrici dotati di massa? Senza un siffatto strumento intellettuale, come altrimenti avrebbe potuto risolvere il problema di calcolare la traiettoria di un grave attratto da una forza gravitazionale fissa inversamente proporzionale al quadrato della distanza? Non cresce su questa ipotesi tutta una scienza? Ma, per Newton, quando un assunto è coerente con un sistema teorico, e corrisponde a un fenomeno, non fa parte delle "hypotheses", bensì delle "propositiones". "Hypothesis" è parola che preferisce riservare all'assunto cartesiano dei vortici (lo chiama infatti "hypothesis vorticum"), perché in contrasto con le leggi del moto dei pianeti e con le orbite stesse delle comete.

E che dire dell'idea newtoniana di un fluido particellare etereo diffuso nello spazio? A quale modello matematico si riferisce, a quali dati dell'esperienza? Non è anch'essa "hypothesis"? E quale teoria, quale esperimento sostenevano il postulato di uno spazio assoluto e di un tempo assoluto, tra loro indipendenti? Lo stesso principio di azione a distanza non si può dire fosse diretta esperienza. Non sono, queste, contraddizioni alla tesi di una sana filosofia fondata soltanto su grandezze fisiche? Era l'averne osservato gli effetti costanti in tanti fenomeni terrestri e celesti a dare all'ipotesi un contenuto oggettivo, a farne qualcosa di più di una congettura intesa a colmare il vuoto delle conoscenze intorno alle ragioni profonde del fenomeno del moto, al perché recondito della gravitazione: a trarne il fondamento (logico o psicologico?) di un sapere che non cerca le qualità più o meno occulte, ma si appaga di misurare gli eventi, di carpirne, attraverso le quantità, le leggi matematiche.

"Hypotheses non fingo" è da intendersi come rifiuto di inventare spiegazioni intorno alle componenti non matematico-fisiche del movimento (forse un atteggiamento suggerito dalla memoria della drammatica abiura di Galileo): rifiuto di una scienza che non sia ricerca delle proprietà quantitative dei fenomeni, che non sia riduzione in leggi matematiche di tali proprietà; rifiuto di una filosofia naturale che intenda dare contenuti non necessari ad assiomi e teoremi, di un sapere che pretenda di sostituire all'essere il dover essere. E' lo spirito della scienza moderna: spiegare la natura con la natura. Di qui l'ostracismo alle teorie non provate, alle interpretazioni non verificabili, alle asserzioni non riferite a realtà, che, come tali, "pro nihilo sunt habendae" (8).

Nella particolare e riduttiva accezione newtoniana, dunque, l'ipotesi non è strumento esplicativo dei fatti: è congettura sostitutiva di questi; non una domanda rivolta alla natura, ma una risposta data in sua vece.

7. - L'artigiano del metodo trova un ulteriore motivo di interesse nella rilettura delle pagine di Newton. E non soltanto perché i primi fondamentali strumenti intellettuali della statistica (i principi, i teoremi) sono cresciuti con l'affermarsi della meccanica newtoniana, ad opera di astronomi che ne esplicavano

---

(8) E fra le carte inedite sarebbe stata trovata traccia di una quinta "regula philosophandi", forse preparata per una ulteriore edizione, che suonerebbe così: "Tutto ciò che non deriva dalle cose, può essere considerato ipotesi".

il paradigma. Trova anche una ragione spirituale, che va alla radice umana profonda della filosofia naturale che ispira i *Principia*; trova, se così posso dire, un soccorso morale: trova la ricerca per la ricerca. E ciò è di consolazione oggi, che nel metodo statistico — un metodo sorto nelle scienze della natura e coinvolto poi nelle discipline del sociale, sempre più invadenti — si tende ormai a vedere null'altro che il momento algoritmico di una teoria strategica delle decisioni: statistica come tecnica della convenienza, non come metodologia della conoscenza.

In Newton c'è la spinta al sapere, al capire, allo scoprire, senz'altro fine che soddisfare la propria curiosità del mondo. Fa bene ritrovare queste motivazioni, oggi, che il metodo quantitativo, ormai ignaro delle proprie radici, vien sempre più coinvolto in una pratica edonistica dove l'averne ha quasi sopraffatto il pensare, l'utilità ha quasi soppiantato la verità.

ITALO SCARDOVI

### *Post scriptum*

Al momento di licenziare le bozze di questo numero di STATISTICA, da molti giovani e meno giovani Colleghi mi viene l'invito a riprodurre, d'ora in poi, la versione autentica del motto. E sia.

### SUMMARY

In this note the Editor begins with the renewal of the Journal cover — suggested by the recent academic regulations governing publications which are the property of the University of Bologna — to recall that we have, for a long time, and on many occasions, noted that the motto of this Journal is both inaccurate and inappropriate. The founder of STATISTICA had, in fact, intended to transcribe from Newton but, unfortunately, he used an indirect source which was not faithful to the original. In the "Scholium generale" added to the second edition of the *Philosophiae naturalis Principia mathematicae*, published in 1713, the original phrase was: "In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis et redduntur generales per inductionem".

It can be seen that, on the Journal cover, the aphorism is not signed, so that one could possibly be led to consider it as an *ad hoc* motto, but this was not the intention. This is shown by the fact that the same phrase, mutilated and mangled, has also appeared for more than forty years (in large bronze letters) in the entrance of the University of Bologna Institute of Statistics (founded together with the Journal), where it is explicitly attributed to Newton. Rather than search for the reasons, possibly trivial ones, for such a counterfeit — which, without going into detail, suppresses the reference to phenomena, which are so important in statistics — the Editor prefers to examine more closely the meaning attributed by Newton to the expression "deducuntur ex phaenomenis": a lexical and conceptual antinomy which, in the logic of the *Principia*, takes on a profoundly methodological meaning.

In order to understand it, one must re-read Newton's work, in a spirit free from philosophical prejudices and museum cataloguing: those claiming to separate deduction and induction (*logos* and *empeiria*) even in the living reality of scientific research. Science, continually discovering and developing, derides and frees itself from mummifying categories.

In the *Principia*, deductive and inductive approaches alternate and are indissolubly integrated. Newton may seem, at times, lost in formal deduction (Cartesian logic?), or taken up by observed phenomena, to measure and order (a Baconian empiricist?), or even intent on reproducing and modifying laboratory experiments, to compare the theoretical assumptions in the light of facts (a Galilean experimentalist?). But even Galileo sometimes found himself upon completely empirical pathways, and sometimes closed himself into a hypothetical-deductive way of reasoning: one would say here Cartesian and there Baconian, if the much too simple antithesis between the two adjectives were not to break down in the face of a Bacon intent upon developing *a priori* assumptions and of a Descartes searching for support in experimental findings.

Newton's experiment is also Galileo's; abstraction and observation. It is the reduction of reality to artefact: from the mechanical model of the ball rolling down an inclined plane to the abstract model of the ideal weight falling in an ideal vacuum; from the planetary masses which orbit around the sun to a system of Euclidean points which are mutually attracted. Thus the syntactic and semantic nexus between experience and reason lies, first, in the genial imagination, and then in the comparison between the reality of events. This is not a pure abstract mathematical construction, but rather a mathematical construction of the concrete; not the reproduction of reality as such, but rather the reduction of a phenomenon to its invariants.

On the assumption of a mathematical architecture of the universe, Newton carries out his generalizations, which are inductive ones in that they follow by analogy of phenomenon with phenomenon, and they are also deductions in that they recognize formal and quantitative identities between geometrical-physical conditions. "Deducuntur ex phaenomenis" means, above all, this: that the resultant in the plane of two combined forces, centripetal and centrifugal, acting upon an object moving around a fixed object, whose attraction towards it is inversely proportional to the square of the distance between them, cannot fail to describe an ellipse. It is also true that even Kepler had extended the model of the orbit of Mars to all the planets with the sun at one of the foci; and also Galileo had generalized the parabolic trajectory of a projectile to any object. Induction? Deduction? It is the Newtonian "deduction from phenomena", in which one sometimes seems to recognise aspects of abduction: that subspecies of non-demonstrative deduction, of reasoning with the facts, which Peirce derived from the Aristotelian *apagoghé*.

If he had not universalised his law — a mathematical law — over all matter deducing from planetary masses, not physical bodies, but rather the Euclidean points of their centres) how would this genius have been able to bring together into a single magnificent system a falling apple and planetary orbits? How would he have been able to unify two intellectual paradigms which had been until then separate and distant: terrestrial and celestial mechanics, Galilean dynamics and Keplerian astronomy?

Having calculated the angular velocity of the Moon and the gravitational acceleration on the Moon, and concluded that terrestrial gravity decreases according to the reciprocal of the square of the distance from the centre of the Earth, Newton attributes this property to all material bodies. Induction by analogy or axiomatic deduction?

Newton, to be exact, uses the verb *deducere* quite freely: writing indifferently about principles deduced from events and of events deduced from principles: but they are always analogies between formalised phenomena. Analogy is induction; though Newton admits the necessity of logic, of a physical and mathematical coherence which he presents as the considers it: a certain inference,

He deduces from phenomena in that he reduces natural regularities to mathematical relationships, the links between events to links between concepts. (In Hume's terminology, he builds a "relation of ideas" from "matter of fact"). Once the facts are reduced to artefacts, the quantities to mathematical symbols, the perceived event to a simulated event, the inferences drawn seem to have, at one and the same time, the demonstrative quality of deduction

and the generalising nature of induction.

On one condition, of course: that the mathematics are *the* mathematics of Nature. Here lies the greatness and the limit of every "universal system".