DIDATTICA DELLE SCIENZE

Bimestrale per l'insegnamento delle scienze e della matematica

Direttore Mauro Laeng, docente di Pedagogia nell'Università di Roma

Numero 95 dell'ottobre 1981

Sommario

In copertina

L'ammasso aperto delle *Pleiadi*, nel Toro, noto fin dalla più remota antichità. La mitologia greca vedeva nelle nove stelle visibili ad occhio nudo Atlante e Pleione e le loro sette figlie: Alcione, Asterope, Elettra, Maia, Merope, Seleno e Taigete. Si tratta in realtà di un ammasso di circa 250 stelle, distante dal Sole circa 400 anniluce e racchiuso in un volume di circa 15 anniluce di diametro, immerso in una tenue massa gassosa visibile, fotograficamente, intorno alle stelle principali, in particolare Merope, che ne eccitano la parte circostante dando luogo ad un vasto sistema nebulare diffuso.

Pubblicazione bimestrale - Anno XVI - **Direttore Responsabile:** Vittorino Chizzolini - Autorizzazione del Tribunale di Brescia n. 228 del 31 Marzo 1965 - Spedizione in abbonamento postale - Gruppo IV/70 - **Direzione, Redazione, Amministrazione:** Editrice La Scuola - S.p.A. - 25186 Brescia, Via Luigi Cadorna, 11 - Conto corrente postale 17-603 - Tel. centr. (030) 47-461 - Telex 300836 SCUOLA.
Filiali: 40131 Bologna (Via L. Cipriani, 5, tel. (051) 521090 - telex 531141 SCUOBO); 20136 Milano (Viale Bligny, 7, tel. (02) 8370271 - telex 331836 SCUOMI); 00193 Roma (Via Crescenzio, 23, tel. (06) 655179 - 653989 - telex 614259 SCUORO); 80137 Napoli (Via S. Elia ai Miracoli, 19/21, tel. (081) 441200 - telex 720399 SCUONA); 70124 Bari (Via Giulio Petroni, 21 A/E, tel. (080) 228647 - telex 810391 SCUOBA).
Abbonamento annuo 1981-82: L. 12.000 (estero L. 14.500) - Sconto 10% agli abbonati di: SCUOLA MATERNA - SCUOLA ITALIANA MODERNA - SCUOLA E DIDATTICA - PROFESSIONALITÀ - Prezzo del presente fascicolo L. 2.200 (arretrato il doppio).
Stampa: OFFICINE GRAFICHE LA SCUOLA - 25186 BRESCIA.

Carlo Felice Manara

LA MATEMATIZZAZIONE DELLA REALTÀ NEI SUOI SVILUPPI STORICI. 1

La crisi galileiana della scienza della natura

1. È noto che il tempo di Galileo viene abitualmente considerato come il periodo iniziale della scienza moderna. Le analisi più comuni di questo importantissimo fenomeno storico vertono abitualmente sulla introduzione esplicita del metodo sperimentale nelle scienze della natura; si tratta di un'analisi indubbiamente valida, la quale mette in evidenza il fiorire di una metodologia che non era così ampiamente adottata nei secoli precedenti. Va tuttavia ricordato che Galileo non fu il primo né il solo che preconizzò l'introduzione metodica dell'osservazione e dell'esperimento nelle scienze della natura.

Forse l'attenzione viene abitualmente richiamata su questo aspetto dei suoi atteggiamenti perché a questo proposito si svolsero le note polemiche che diedero alla vicenda di Galileo la rilevanza storica e filosofica che tutti conosciamo. Ma la necessità di partire dall'osservazione per cercare una spiegazione dei fenomeni che ci circondano è stata esplicitamente riconosciuta fino dall'antichità classica; per esempio i Greci affermavano che ogni spiegazione doveva render conto dei fenomeni, delle cose che ci appaiono: *sózein tà fainómena* (render conto dei fenomeni; letteralmente: salvare i fenomeni) era il detto che reggeva la scienza greca. Tuttavia, accanto a questa esigenza, era pure affermata le necessità di utilizzare le forze della ragione come affermava il detto *énnoia critérion zetéseos* (la ragione è il criterio, la guida, della ricerca). Né ci si può stupire di questi atteggiamenti, perché appare ragionevole pensare che la ricerca scientifica aspira a due scopi fondamentali, che potrebbero essere indicati provvisoriamente con i termini certezza e spiegazione. Certezza nei limiti del possibile e commisurata con le caratteristiche delle varie scienze; spiegazione pure commisurata con la natura di ogni singola scienza.

In questo ordine di idee la matematica greca ci si presenta come un primo schema di razionalizzazione dell'esperienza sensibile, quasi una prima matematizzazione della realtà fisica che cade sotto i nostri occhi e sulla quale noi operiamo. Infatti si potrebbe dire che per Euclide, e in generale per la scienza greca, la matematica era considerata come una scienza caratterizzata dai suoi contenuti, dai suoi oggetti: i postulati di Euclide sono stati sempre considerati, tanto nell'antichità che in epoche più recenti, come proposizioni che esprimevano verità oggettive. Occorre inoltre ricordare che questa maniera di considerare la geometria è durata fino al secolo scorso, e precisamente fino alla crisi delle geometrie non euclidee; pertanto non si può affermare che un atteggiamento cosiffatto rivela una totale mancanza di senso critico presso i Greci, come saremmo tentati di pensare oggi, dopo un esame superficiale e con un giudizio indotto dai risultati della critica moderna e dalle conoscenze che noi abbiamo: invero l'atteggiamento dei Greci era consono alle nozioni di matematica che allora si avevano e forse è anche giustificato dalle limitazioni di cui la scienza greca soffriva, soprattutto per quanto riguarda le convenzioni per rappresentare comodamente i numeri. E tuttavia la geometrizzazione dell'aritmetica e gli sviluppi che erano le conseguenze naturali di questo atteggiamento portarono la scienza greca a dei livelli altissimi. È infatti tesi comune presso gli storici quella che sostiene che presso i Greci troviamo, per la prima volta nella storia dell'umanità, la matematica a livello scientifico, utilizzata per cercare conoscenze astratte e generali e non semplicemente per risolvere problemi pratici, in modo episodico e quasi empirico. Di conseguenza appare non imprudente affermare che la scienza, con i suoi caratteri distintivi di certezza, di generalità e di rigore deduttivo fa la sua prima apparizione storica presso i Greci. In questo ordine di idee quindi gli *Elementi* di Euclide costituiscono uno dei primi, se non addirittura il primo, esempio di trattato scientifico di cui si abbia conoscenza; ivi l'esposizione è fatta secondo canoni che sono ancora validi tuttora: enunciazione del significato dei termini impiegati, enunciazione delle proposizioni considerate come evidenti, dimostrazione rigorosa delle proposizioni che non sono evidenti a prima vista ma che sono tuttavia vere.

2. Abbiamo affermato che i Greci non possedevano convenzioni comode e pratiche per rappresentare i numeri; ciò rende ancora più grande ai nostri occhi la statura del genio di Archimede il quale escogitò il modo di rappresentare numeri grandissimi. E questa considerazione ci aiuta a capire l'importanza della rivoluzione scientifica che si ebbe nel mondo occidentale con l'introduzione delle convenzioni arabe ed indiane per la rappresentazione dei numeri. Una prova dell'importanza di questo evento storico è data dal fatto che queste convenzioni sono ancora in uso oggi presso tutti i popoli, per gli impieghi pratici, tecnici, scientifici.

Pertanto la crisi galileiana della scienza si è sviluppata in un'epoca in cui l'algebra aveva già raggiunto una certa sua autonomia nei riguardi della geometria: infatti l'epoca di Galileo è stata preceduta da quella delle grandi scoperte algebriche, per opera della scuola lombarda e della scuola bolognese; è quindi un'epoca nella quale la geometrizzazione dell'aritmetica ed in generale dell'algebra non è più una necessità pratica, come lo era presso la matematica greca. Non vi è dunque ragione per meravigliarsi se troviamo che la matematica viene considerata come la lingua universale nella quale deve essere *letto* il gran libro della natura, perché questo libro è scritto proprio in questa lingua.

In questo atteggiamento consiste — a nostro parere — il più importante contributo di Galileo alla crisi scientifica rinascimentale. Non tanto, dunque, o non soltanto nella proclamazione del metodo sperimentale considerato come il più importante metodo scientifico: infatti in questo Galileo non fu il primo né il solo: basti ricordare il nome di F. Bacone di Verulamio, che codificò le tecniche sperimentali per poter riconoscere più davvicino le cause di un determinato fenomeno. E del resto anche nelle questioni più disputate da Galileo, per esempio nelle questioni astronomiche delle macchie solari e dei satelliti di Giove, l'esperimento ha poco a che vedere, perché si tratta qui di osservazione di fenomeni piuttosto che di sperimentazione.

Ed in questo contesto occorre ricordare che i contraddittori di Galileo si rifanno spesso alla « sensata esperientia » per combatterlo; cioè, ancora una volta, all'osservazione delle cose come ci appaiono. Infatti la critica che viene avanzata contro le osservazioni astronomiche di Galileo è fondata non tanto sulle stupide argomentazioni aristoteliche riportate da tanti libri di storia, ma soprattutto sulla osservazione che le esperienze di Galileo erano basate soltanto su sensazioni visive e che la vista è quello tra i sensi dell'uomo che è più soggetto alle illusioni ed alle fallacie.

Quindi si potrebbe dire che se la questione è portata soltanto sul terreno del metodo sperimentale o della pura osservazione, i contraddittori di Galileo dimostrano di accettare tale metodo così come lo accetta lui stesso, anzi di essere talvolta più ipercritici di lui nei riguardi dei dati dei sensi. Ciò che invece distingue in modo specifico la posizione di Galileo da quella dei suoi predecessori e dei suoi contemporanei è l'adozione metodica di un certo linguaggio, quello matematico, che viene considerato e proclamato come il linguaggio principale, se non addirittura l'unico, della conoscenza scientifica della natura.

3. Si potrebbe dire che questa posizione di Galileo viene proclamata e sostenuta in tutti i suoi scritti; tuttavia il passo che viene citato più frequentemente è quello celebre del *Saggiatore:* « ... la filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto inanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e 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 intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto ».

Troviamo qui esplicitamente affermata la posizione metodologica che si riferisce al linguaggio nel quale la natura è scritta; l'adozione di una terminologia geometrica può far pensare alla tradizione di prevalenza della geometria sul resto della matematica che era una eredità della scienza greca; ma non pare che vi siano dubbi sulla sostanza delle affermazioni, che proclamano la matematica come lingua della scienza della natura.

Vale la pena di fare qualche osservazione a questo proposito, per poter comprendere bene quali siano i limiti ed i fondamenti della affermazione galileiana, e su quali basi sia stata fondata, nei secoli che seguirono, la fortuna della matematizzazione delle scienze della natura. A tal fine occorre ricordare che, nella costruzione di una immagine razionale della realtà, necessaria perché si impianti una conoscenza scientifica, sono da distinguersi vari momenti, i quali possono anche essere non cronologicamente separati, ma che sono tuttavia logicamente distinti.

Tali momenti possono grossolanamente essere identificati nei seguenti: anzitutto l'osservazione della realtà, senza la quale ovviamente non si può dare elaborazione scientifica della conoscenza, nel senso almeno che noi attribuiamo a questa espressione. Come abbiamo già osservato, non è detto che questa osservazione possa avere la sua origine in un esperimento propriamente detto, cioè possa essere ripetuta a volontà, con variazione delle circostanze accessorie e cambiamento delle cause di certi fenomeni, così come è prescritto dalle « tavole di presenza e di assenza » di F. Bacone. È banale infatti osservare che, per esempio nel caso della astronomia, i fenomeni non possono essere riprodotti a volontà in laboratorio. Analoghe osservazioni, anche se meno banali, possono essere fatte nel caso delle scienze che riguardano l'uomo davvicino; infatti non è concepibile, almeno fino a quando rimane valida la nostra concezione dei rapporti umani, che l'uomo possa essere direttamente oggetto di esperimento, così come invece lo sono gli animali o gli oggetti della natura inanimata. È da osservarsi infine che l'uomo ha una storia, cioè che in esso si ha un accumulo di informazioni e di esperienze che ne modifica la condotta, in modo da rendere difficilmente applicabili nel suo caso le tecniche valide per le cose inanimate, che invece non cambiano sensibilmente nel tempo in conseguenza degli esperimenti.

Al momento dell'osservazione della realtà segue (ripetiamo logicamente, non sempre necessariamente dal punto di vista cronologico) il momento della enunciazione delle ipotesi sulla natura delle cose che si sono osservate. È chiaro che tali ipotesi non possono essere oggetto di osservazione diretta, altrimenti dovrebbero essere catalogate nella prima categoria, quella delle osservazioni.

Il terzo momento della procedura è quello della deduzione delle conseguenze dalle ipotesi che sono state formulate in modo più o meno esplicito e che non sono direttamente verificabili. Questa deduzione può essere ottenuta col metodo sillogistico tradizionale, che si serve del linguaggio comune, oppure con un calcolo, che sfrutti le leggi sintattiche di certi simboli ideografici che sono stati adottati per esprimere le osservazioni e per formulare le ipotesi. È chiaro che questo momento è nettamente staccato dai primi due, perché le deduzioni vengono fatte a livello puramente logico, cioè avendo riguardo esclusivamente alla forma delle proposizioni, oppure delle relazioni matematiche o delle equazioni che si utilizzano per esprimere le osservazioni e formulare le ipotesi.

È chiaro il vantaggio che si ottiene

in questo momento con l'adozione del linguaggio matematico; infatti in questo caso la deduzione si riduce ad un calcolo, cioè ad una trasformazione puramente formale delle relazioni matematiche, trasformazione che utilizza le sole proprietà dei simboli adottati, senza riferimento ai loro significati. Al limite si potrebbe dire che a questo stadio le deduzioni potrebbero essere affidate ad una macchina che non capisce il significato dei simboli adottati ma semplicemente è in grado di riconoscere i simboli stessi e di applicare le leggi formali della trasformazione delle espressioni. In altre parole si potrebbe quindi dire che la generalità e la astrattezza del simbolismo matematico realizzano in qualche modo la situazione ideale della deduzione, la quale manifesta i suoi vantaggi soprattutto quando sia confrontata con la deduzione sillogistica, che era necessariamente impiegata quando il simbolismo matematico non era ancora sufficientemente sviluppato.

Osserviamo tuttavia che la deduzione, quale che sia la sua forma e la procedura con cui essa viene ottenuta, deve esprimere qualche cosa che abbia un riferimento ad una realtà concreta, qualche cosa che sia verificabile con esperimenti o almeno con osservazioni. Si innesta infatti a questo punto il quarto momento della procedura di costruzione di una teoria; questo momento consiste nella verifica, cioè nel confronto delle deduzioni dalle ipotesi con una realtà osservata ed osservabile.

4. Una delle ragioni che spiegano in qualche modo il successo della matematizzazione della scienza è rappresentata dalla certezza delle conclusioni che si raggiungono quando la deduzione viene ridotta ad un calcolo, cioè ad una trasformazione puramente formale dei simboli e delle espressioni. Abbiamo già detto infatti che con queste procedure si ottengono quella astrattezza e quella generalità che sono conseguenza della pura convenzionalità dei simboli adottati; inoltre queste due circostanze sono affiancate alla certezza delle deduzioni, le quali (come abbiamo già detto) potrebbero anche essere addirittura affidate ad una macchina elaboratrice di informazioni. Queste circostanze si riferiscono sostanzialmente al terzo momento della costruzione di una teoria scientifica; tuttavia, come abbiamo osservato, questo momento è strettamente connesso agli altri, ed in particolare al primo ed al quarto momento.

Infatti, quando si adotti il linguaggio matematico per la descrizione della realtà concreta, questa descrizione ci si presenta come molto più certa e chiara di quella che si ottiene adottando il linguaggio comune: invero è molto più chiaro dire per esempio « ... è lungo tanto, pesa tanto ecc. », piuttosto che limitarsi alle descrizioni qualitative che sono possibili con l'impiego del linguaggio comune, perché si pensa che la traduzione in cifre delle osservazioni non ammetta equivoci, o almeno si presenta molto più chiara delle altre. Analoghe osservazioni si possono fare quando si analizza il quarto momento della procedura, cioè il momento del confronto della realtà con le deduzioni dalle ipotesi formulate; anche qui infatti si potrebbe dire che se i risultati delle deduzioni sono dei numeri, tutto si riduce a confrontare questi numeri con le misure, constatando così la concordanza oppure la discordanza della teoria formulata con la realtà concreta che si osserva.

A questa apparente semplicità di procedure si oppongono tuttavia certi dubbi e certe critiche che vanno esaminate; tali critiche vertono anzitutto sulle ipotesi, inespresse ma necessarie, che sono ammesse perché si possa procedere alla descrizione della realtà mediante numeri; ed in secondo luogo sul significato delle misure e sulla natura stessa del procedimento quantitativo della descrizione della realtà.

Anzitutto, per quanto riguarda il primo momento della descrizione della realtà mediante numeri, va detto che nell'accezione classica questa descrizione viene fatta con un procedimento elementare che viene chiamato « misura »; in tale procedimento viene utilizzato un certo campione che viene confrontato con una certa grandezza che si vuole rappresentare. Va osservato tuttavia che alla base di questo procedimento stanno due ipotesi: che la *cosa* da rappresentare appartenga alla classe delle « grandezze », con le proprietà che sono state investigate dai logici, e che il campione utilizzato sia invariante rispetto alle manipolazioni alle quali viene sottoposto durante le operazioni di misura. E non si può sottacere che questa nostra analisi può essere considerata come rudimentale e provvisoria di fronte alle analisi ben più profonde e sottili che sono state sviluppate da E. Mach sui fondamenti della meccanica razionale e della fisica in generale.

Il secondo momento di questa analisi critica consiste nell'osservare che nessuna misura può pretendere di possedere una precisione assoluta, ma che ciascuna porta con sé un certo margine di errore, una certa lacuna di informazione che ha la sua radice nelle cose stesse che si vogliono rappresentare e nelle procedure concrete che si adottano. Le esemplificazioni sono facili e numerosissime, e portano a concludere che molto spesso certi numeri che si presentano come esempi di *precisione matematica,* in effetti non significano nulla, perché non sono verificabili con esperimenti o con procedure effettuabili nei casi concreti considerati. E si potrebbe dire di più, aggiungendo che, anche qualora questi esperimenti fossero effettuabili, i numeri stessi non porterebbero informazioni utili, né alla pratica né alla elaborazione teorica; a questa infatti giova spesso una certa indeterminatezza, che rende possibile l'adozione di modelli matematicamente semplici ed eleganti, tralasciando i modelli più complicati e macchinosi. Va rilevato infine che questa mancanza di determinazione si riflette anche sul quarto momento della costruzione della teoria, e precisamente sul momento della verifica. Anche in questo momento infatti gioca la circostanza secondo la quale nessuna misura può ritenersi perfettamente determinata e precisa; ne consegue che quasi mai avviene che una teoria, espressa mediante certe ipotesi da cui si deducono certe conseguenze, possa ritenersi perfettamente verificata ed inattaccabile alle verifiche sperimentali. Entra sempre in gioco una valutazione soggettiva, che permette di attribuire le possibili discordanze, tra le deduzioni e le verifiche, agli errori di osservazione, oppure alle incertezze delle misure iniziali; il che lascia spesso largo campo alla scelta tra l'accettazione della teoria, oppure l'introduzione di alcuni ritocchi che ne migliorano l'aderenza alla realtà, oppure infine alla decisione di rigettare il tutto, per costruire una nuova teoria.

Nello stesso ordine di idee si colloca una scelta che viene fatta, anche se non sempre in modo esplicito e cosciente, tra i fenomeni osservati di cui si vuol tenere conto e quelli che si considerano trascurabili, almeno in prima approssimazione, quando si formulano le ipotesi. Ricordiamo infatti che nelle dispute che Galileo ebbe con i suoi avversari, questi si rifacevano alla « sensata esperientia » per affermare per esempio che la piuma cade più lentamente del ciottolo. E questo è vero anche oggi, e resta vero, quando ci si riferisca alla esperienza bruta. Ciò che Galileo difende è la gerarchia da lui instaurata sulla importanza dei fenomeni, con una graduatoria rispetto alla quale il fenomeno che si considera veramente importante viene distinto dagli altri, considerato a parte ed analizzato per primo, trascurando gli altri che vengono considerati come perturbazioni di esso. Non pare che vi sia dubbio sul fatto che, nella costruzione di una teoria scientifica, viene fatta una scelta di questo tipo, perché occorre rinunciare, almeno provvisoriamente, alla completezza per cercare la semplicità e l'essenzialità della rappresentazione delle cose. Ma occorre osservare che questa scelta dovrebbe essere sempre fatta in modo esplicito e cosciente, il che non sempre avviene, dando luogo a dispute *a posteriori* che possono essere giudicate dal tribunale dell'esperienza esclusivamente. Vi è inoltre qui luogo a fare una ulteriore osservazione, che discende dall'analisi svolta finora; infatti la classificazione dei fenomeni in due classi, almeno provvisoriamente, di fenomeni *importanti* e di fenomeni *accessori* risulta utilissima, se non addirittura necessaria, per la fondazione di una teoria scientifica quantitativa; essa tuttavia adotta implicitamente un criterio di giudizio che si appoggia sostanzialmente alla proporzionalità tra la grandezza delle cause e quella degli effetti: di conseguenza è considerato importante, almeno in prima approssimazione, quel fenomeno che dà luogo alle conseguenze considerate più importanti e che ha le misure più importanti rispetto agli altri. Ma si può osservare che questo criterio, fondato sulla proporzionalità tra le cause e gli effetti, pur essendo spiegabile ed accettabile in prima approssimazione, non ha una validità assoluta e generale. Si direbbe invece piuttosto che nella natura vige il principio delle piccole cause e grandi effetti, criterio che è espresso anche da Dante col celebre verso « Parva favilla gran fiamma seconda », e come dimostrano le scoperte innumerevoli di « colli di bottiglia » nei fenomeni biologici, nei fenomeni chimici riguardanti i catalizzatori delle reazioni, e come dimostra la teoria delle catastrofi, che può essere considerata in certo modo come una versione drammatizzata della teoria dell'informazione. Ovviamente la proporzionalità tra cause ed effetti rispecchia la linearità dei primi termini degli sviluppi in serie di Taylor che esprimono le funzioni matematiche più abitualmente impiegate, ma non è detto che i termini successivi delle serie di Taylor non abbiano significato e non possano portare contributi, che a volte si rivelano determinanti, alla rappresentazione di certi fenomeni i quali sfuggono alla linearità ed alla conseguente proporzionalità. Ripetiamo che la biologia, la chimica, l'economia e la stessa fisica forniscono numerosissimi esempi di fenomeni cosiffatti.

La procedura di costruzione di una teoria fisico matematica è bene esemplificata da quell'evento storico che Keplero chiamò la sua *guerra con Marte* e che originò la formulazione delle sue celebri leggi sul moto dei pianeti attorno al Sole. Qui ovviamente non vi era luogo a fare esperimenti, perché i fenomeni osservati riguardavano eventi astronomici; ed i momenti primo e quarto, dell'osservazione e della verifica, erano già contenuti *in nuce* nelle osservazioni fatte da Tycho Brahe circa un quarto di secolo prima. L'ipotesi emessa riguardava la forma geometrica della traiettoria del pianeta Marte, e la deduzione delle conseguenze dalle ipotesi si riduce ad un calcolo. Gli strumenti allora impiegati permettevano una precisione di misura che non andava sotto i 6'' di grado, ed entro tali limiti di osservazione Keplero provò a formulare varie ipotesi sulla forma della traiettoria di Marte attorno al Sole, calcolando poi le conseguenze di ogni ipotesi e confrontando i risultati dei calcoli con i dati che egli già possedeva, fino a che egli giunse a formulare l'ipotesi che si rivelò infine come la più adeguata. E ricordiamo ancora che non ha senso parlare di ipotesi vera o giusta in assoluto, perché i limiti delle possibilità di osservazione e la presenza degli altri pianeti del sistema solare che turbano il moto, ed infine i progressi delle teorie gravitazionali costringono ad accettare le leggi di Keplero come approssimazioni valide entro certi limiti; il che avviene, del resto, per ogni legge della fisica.

5. Ciò che abbiamo detto finora a proposito della crisi galileiana della scienza prepara la strada per un'analisi ulteriore della matematizzazione della realtà; ed intendiamo indicare con questo termine di matematizzazione una evoluzione, un processo storico che si esplica con l'adozione di un determinato linguaggio simbolico, il quale permette di rappresentare la realtà con certezza e precisione molto maggiori di quelle del linguaggio comune, e di dedurre con maggiore facilità e generalità di quanto non si possa fare col metodo sillogistico classico. È tuttavia utile rendersi conto dei fondamenti di un procedimento cosiffatto, delle ipotesi a volte implicite, che sono forse ignorate e non espresse, ma che sono necessarie, e quindi dei limiti che un tale modo di procedere è destinato ad incontrare.

Va detto infine che questa prima ma-

(*continua a pag.* 36)