

DIDATTICA DELLE SCIENZE

Bimestrale per l'insegnamento delle scienze e della matematica

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

Numero 98 del Febbraio 1982

Sommario

- 3 PAOLO CAMPOGALLIANI, La relatività prima di Einstein
- 10 DARIO ANTISERI, Idee metafisiche e sviluppo della scienza. Alcune esemplificazioni storiche
- 13 EUGENIO STOCCHI, La qualità della vita e la chimica
- 17 GIOVANNI PEZZATINI - FABIO OLMI, Riflessioni e proposte per un nuovo insegnamento della chimica nella scuola secondaria superiore. Parte I: considerazioni generali e obiettivi
- 22 ALVERO VALETTI, Appunti per una didattica dell'astronomia. 8
- 26 GIORGIO BOGANI - MARIAGRAZIA COSTA - GINETTO OLIVIERI PASSERI, Schede di elettrochimica
- 29 CARLO FELICE MANARA, La matematizzazione della realtà nei suoi sviluppi storici. 3 - Dalla meccanica razionale alla termodinamica

Inserito

Fra gli organismi che interagiscono con l'uomo, dopo le alghe, è ora il turno dei Miceti. La presente puntata è dedicata in gran parte ad un excursus storico oltre che ad un'ampia introduzione sul concetto stesso di Miceti. Dal tutto l'idea di un mondo ampio e ricco di vita, dalle molteplici implicazioni con l'uomo, e che l'uomo, nella vita moderna, mentre esse assumono addirittura aspetti industriali, tende paradossalmente ad ignorare.

In copertina

La nebulosa gassosa NGC 6514 - M 20, nel Sagittario, distante dal Sole circa 5200 anniluce, nota come nebulosa *trifida* perché nelle fotografie appare trilobata a causa di grossi filamenti di polveri oscure che ne attraversano il campo. Con medi strumenti si possono intravedere la complessa struttura e due delle stelle avviluppate, di cui una doppia.

Fascicolo di 32 pagine più inserto redazionale.

Pubblicazione bimestrale - Anno XVII - **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 Crescenzo, 23, tel. (06) 655179-653989 - telex 614259 SCUORO); 80137 Napoli (Via S. Ella al 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 - Un fascicolo L. 2.200 (arretrato il doppio).
Stampa: OFFICINE GRAFICHE LA SCUOLA - 25186 BRESCIA.

LA MATEMATIZZAZIONE DELLA REALTÀ NEI SUOI SVILUPPI STORICI. 3

Dalla meccanica razionale alla termodinamica

1. Abbiamo osservato che la trattazione newtoniana della meccanica presenta le stesse caratteristiche della costruzione euclidea della geometria; in altre parole — e quindi la fisica di quei tempi — aveva matematizzato i propri oggetti tendenzialmente con la stessa trasparenza che la geometria classica presentava, o avrebbe dovuto presentare. Si pensava infatti che i pochi neri, che G. Saccheri aveva potuto ritrovare nella trattazione euclidea, si potessero eliminare con una adeguata analisi logica; ma la struttura della scienza appariva non suscettibile di cambiamenti e di variazioni. Si trattava di un edificio — abbiamo detto — che poteva essere ampliato indefinitamente, ma sui cui fondamenti non si ammettevano discussioni; e queste non erano neppure pensabili sui metodi da utilizzare per i successivi ampliamenti, metodi che avrebbero dovuto rientrare nel grande schema del metodo deduttivo, fondamentale dall'epoca di Euclide in poi.

Non abbiamo qui la possibilità di mettere in evidenza tutte le conseguenze che questa visione della meccanica ha avuto nei secoli immediatamente successivi all'epoca di Newton; ci limitiamo quindi a ricordare la trasposizione quasi immediata delle leggi gravitazionali all'analisi delle forze elettriche e magnetiche, e la formazione di tutta una metafisica e cosmologia meccanicistica, che forma il nucleo ed il fondamento dello scienziatismo dell'epoca illuministica. In particolare ciò che appariva affascinante nelle leggi newtoniane della meccanica celeste era il fatto che questa era, per così dire, distaccata dal fluire del tempo: il sistema solare, addirittura l'universo intero sono concepiti come meccanismi perfetti, privi di attrito, nei quali, il passato è ugua-

le all'avvenire, il tempo fluisce sì in un determinato senso, ma questo potrebbe essere invertito senza che nulla cambi nella figura del mondo; un enorme meccanismo, quindi, quasi un enorme insieme di ruote dentate che non hanno un senso privilegiato di rotazione, che non ha direzione privilegiata di moto, perché le rotazioni si ripetono e dopo un certo tempo tutto dovrebbe poter ritornare come prima.

Questa concezione meccanicistica invade, abbiamo detto, tutta la fisica del tempo, sulla scorta del successo strepitoso della meccanica newtoniana; essa tuttavia doveva mostrare le prime crepe a cavallo tra i secoli XVIII e XIX. Tali crepe dovevano porre nuovi problemi alla matematica, e le loro conseguenze dovevano aprire a questa scienza domini nuovi, costringendola però anche ad abbandonare i vecchi schemi per costruirne ed inventarne dei nuovi.

Il campo di analisi che ora ci si offre è molto vasto; ma noi siamo qui costretti ad una trattazione sommaria e quasi rudimentale e quindi dovremo limitarci a ricordare alcuni fenomeni storici, che consideriamo come sintomatici della evoluzione della scienza dalla concezione euclideo-newtoniana a quella più vicina a noi. Precisamente tra gli aspetti salienti della evoluzione della scienza in generale e della matematica in particolare, ci soffermeremo su due di essi: la trattazione matematica dei fenomeni irreversibili e l'analisi matematica dei fenomeni della probabilità. Due argomenti a nostro avviso quasi esplosivi, perché turbano lo schema tradizionale della matematica classica e della fisica newtoniana: il primo turba la concezione della meccanica, concepita come lo studio di un enor-

me meccanismo perfetto, perché introduce uno sviluppo privilegiato del tempo, una dissipazione dell'energia, una specie di « corsa alla morte » nell'universo olimpico e perfetto della concezione newtoniana. Il secondo turba lo schema classico della matematica, concepita come la dottrina della chiarezza e della certezza, per introdurre in essa il probabile, l'incerto, il fluttuante, l'oscuro della realtà storica e della informazione incompleta.

2. Analizziamo anzitutto il caso dell'introduzione di una evoluzione irreversibile della realtà fisica, perché esso costituisce una tappa più facile della nostra analisi. È interessante osservare che l'utilizzazione pratica del calore, come fonte di energia trasformabile in lavoro meccanico, precede di molto la sua trattazione teorica, che dovrà portare alla termodinamica classica. Questa è della metà del secolo XIX, mentre l'invenzione e l'utilizzazione pratica della macchina a vapore è quasi di un secolo precedente; vorremmo ricordare che il genio di Watt fece della macchina a vapore un primo esempio di macchina che si comanda da sola e che si regola da sola; è questo dunque un fenomeno che precorre la moderna cibernetica, ma la precorre, come si è detto, nella pratica dell'invenzione artigianale, non nella sua teorizzazione. Questa verrà con l'analisi di Fourier sui fenomeni della trasmissione del calore, e poi con quelle di Clausius, Meyer e Carnot sui fenomeni della trasformazione del calore in energia meccanica.

Ciò che si può trovare di molto interessante nella trattazione di Fourier non è soltanto la sua analisi del fenomeno tipicamente irreversibile

che lo interessa, ma anche una acuta indagine del concetto di modello fisico-matematico della realtà fisica. Troviamo infatti nella celebre opera di Fourier accanto alla trattazione matematica delle equazioni differenziali della trasmissione del calore, anche una discussione sulla natura di questo fenomeno. All'epoca non era ancora stata costruita una teoria che riconducesse il calore nell'ambito delle altre forme di energia, e quindi si disputava, anche, se esso fosse un fluido sottilissimo che invade la materia oppure qualche cosa d'altro. L'analisi che il Fourier svolge, secondo la sua stessa dichiarazione, è indipendente dalla vera natura del calore; Fourier sottolinea esplicitamente il fatto che il modello fisico-matematico del fenomeno studiato non ha alcuna pretesa di enunciare qualche verità metafisica, relativa al contenuto dei simboli che si utilizzano. Ciò non significa, beninteso, che si rinuncia a dire qualche cosa di vero delle cose che si studiano; significa soltanto che la modellistica che si costruisce non vuole entrare nella discussione sulla natura delle cose, ma vuole soltanto essere una descrizione di queste dal di fuori, e quindi costituisce un apporto valido, ma a livello non metafisico, alla conoscenza dei fenomeni che la fisica studia.

Come abbiamo detto, l'introduzione della dimensione della irreversibilità nell'analisi fisico-matematica della realtà costituisce una crisi essenziale della visione tipicamente meccanicistica dell'universo che era fornita dalla meccanica newtoniana. La strada che parte dalla trattazione di Fourier doveva portare ad una situazione abbastanza strana, nella quale è riconosciuto al calore lo *status* di forma di energia, ma ad un livello, per così dire, inferiore a quello delle altre forme di energia; infatti il secondo principio della termodinamica sanziona la possibilità soltanto parziale di trasformazione del calore in altre forme di energia. Viene così introdotto in modo sistematico e teorico un senso privilegiato nel fluire del tempo, perché il passaggio « spontaneo » (come si usa dire) del calore avviene solo da un corpo più caldo ad uno più freddo ed è irreversibile, a parità di altre condizioni. Ogni trasformazione fisica lascia quindi una traccia incancellabile nell'universo, che non ritorna mai indietro nella

sua evoluzione, anche in quella che riguarda la fisica, e non soltanto per ciò che riguarda i fenomeni della biologia. La trattazione matematizzante della realtà conquista così nuovi campi di conoscenza, che erano sfuggiti alle teorie precedenti, e precisamente alla matematizzazione della realtà di stampo euclideo-newtoniano. Con questo entrava quindi in crisi la concezione meccanicistica della realtà, perché tale concezione dimostrava chiaramente di non saper dominare una grande massa di fenomeni, come quelli del calore e della trasformazione dell'energia, che per la fisica stavano diventando di grande importanza. L'universo della fisica diventava con questo molto più complicato, intricato, sfuggente di quanto non lo fosse per l'immagine perfettamente trasparente che ne era data dalla fisica post-newtoniana e che costituiva il sogno di certa filosofia scientifica. Quella oscurità che i fisici si erano illusi di vincere con l'introduzione della matematizzazione della natura e quindi con la chiarezza matematica degli strumenti logici e linguistici, ritornava con la trattazione dei fenomeni irreversibili riguardanti il calore, che non si lasciavano trattare con la stessa cristallina chiarezza dei fenomeni della pura meccanica; occorreva pertanto un ulteriore sforzo per poter inquadrare tali fenomeni in una cornice di ipotesi e deduzioni che fosse analoga a quella valida — almeno come struttura metodologica — nello schema classico. Ma era svanito per sempre il sogno della meccanizzazione dell'intero universo; in più, la trattazione statistica dei fenomeni del calore, insieme con la teoria cinetica dei gas introduceva nella fisica una dimensione che coinvolgeva la teoria matematica della probabilità. Quest'ultima entrava quindi come personaggio quasi necessario, anche nella fisica, così come era già entrata nell'analisi rigorosa dei fenomeni sociali ed economici. Questo fatto era origine di una crisi ancora più profonda nell'immagine che la matematica dava di se stessa e che aveva di se stessa, crisi che conferiva a questa scienza una fisionomia molto più composita e complessa di quanto avesse mai avuto prima.

3. Non stiamo qui a ripetere le narrazioni abituali che gli storici fanno a proposito delle origini del calcolo

delle probabilità. Infatti gli episodi del Cavaliere de Méré che chiede consiglio a B. Pascal su un problema di gioco delle carte, le risposte dello stesso B. Pascal, la corrispondenza tra questi e P. Fermat, le discussioni di C. Huygens sono ben note a tutti coloro che hanno letto anche un poco di divulgazione di storia della matematica. Sintomatico in questo ordine di idee appare il titolo di una classica opera di C. Huygens: *De ratiocinio in ludo aleae* che si potrebbe tradurre: *Dell'uso della ragione nel gioco dei dadi*; si intravedeva quindi la possibilità di una nuova dimensione di razionalità offerta al pensiero umano, perché l'incerto e l'aleatorio viene a poco a poco a cadere sotto il dominio della matematica; si apre così una nuova metodologia che B. Pascal vorrebbe estendere addirittura a tutto il dominio delle decisioni umane, come testimonia il famoso argomento della scommessa con l'ateo che egli immagina di poter fare.

Questo nuovo capitolo della matematica trovò il suo campo principale di applicazione nelle scienze sociali, come testimonia la classica *Ars conjectandi* di J. Bernoulli con la quale egli si sforza di introdurre il metodo matematico in argomenti non certi, come quelli che capita di dover discutere nelle aule dei tribunali; considerazioni di questo genere sono sviluppate anche dal nipote di J. Bernoulli, che espone ed amplia il pensiero del grande zio.

Un altro campo principale di applicazione doveva essere quello delle assicurazioni sulla vita, con un atteggiamento che mirava ad introdurre una dimensione di certezza e di razionalità in quella che era sempre stata considerata come una avventura incerta, quale la sopravvivenza umana.

Con questa evoluzione la matematica acquista a poco a poco una nuova fisionomia, ed incomincia a diventare sempre più un metodo di ragionamento il quale, anche in presenza di incertezza o di informazione incompleta, raggiunge lo scopo di dare il massimo di razionalità alle decisioni ed al comportamento umani. Siamo quindi di fronte ad una evoluzione molto interessante: dalla matematica classica, considerata in certo modo come pura contemplazione, si passa

prima alla matematica che inquadra i fenomeni reversibili della meccanica, poi a quella che inquadra i fenomeni irreversibili del calore ed infine a quella che cerca di inquadrare le decisioni in condizioni di incertezza.

Quest'ultimo sviluppo della matematica trova il suo sistematore in P.S. de Laplace, il quale pone in un certo senso una pietra miliare nella storia della matematica con la sua celebre operetta sul calcolo delle probabilità. Con altre parole si potrebbe dire che l'opera di Laplace costituisce un esempio (non l'unico ovviamente, ma forse il più celebre) di un sintomatico tentativo di ricaptare nell'orbita della matematizzazione anche i fenomeni, come gli avvenimenti dovuti al caso, che prima di lui erano considerati come totalmente estranei all'ambito di una scienza che si presentava come la scienza della chiarezza, della certezza e del rigore. Incomincia quindi a farsi strada la consapevolezza del fatto che il carattere fondamentale della matematica è la certezza nei riguardi dei processi deduttivi, non nei riguardi dei contenuti delle varie teorie. Infatti quando si applica la matematica alla conoscenza del mondo esterno, la responsabilità dei contenuti ricade sulle premesse di una teoria, cioè di quelle proposizioni che con termine abbastanza improprio sono abitualmente chiamate assiomi di una teoria. Ed il nome di assiomi dato in questo contesto alle proposizioni iniziali di una teoria ha un significato del tutto diverso da quello che ha nell'uso abituale; infatti in questo si suole chiamare assioma una proposizione che viene (a torto o a ragione non interessa qui determinare) considerata come incontrovertibile, mentre nella accezione che stiamo esaminando l'assioma è proprio una proposizione della quale si può discutere, perché riguarda la traduzione verbale o simbolica di una certa realtà esteriore. Queste sono quindi le proposizioni che sono sottoposte a controversia, perché proprio queste cercano di esprimere le osservazioni immediate sulla realtà, osservazioni che sono spesso fallaci perché — come abbiamo visto — la traduzione delle nostre sensazioni in numeri presenta sempre limitazioni, errori, margini di inattendibilità, nei quali si può insinuare la possibilità di miglioramento, la necessità forse di cam-

biare radicalmente addirittura il modello teorico che cerca di darci una immagine della realtà fisica.

Ribadiamo l'osservazione che la matematica si avviava a cessare di essere una scienza di contenuti certi, come era secondo la visione comune; invece essa tendeva a diventare, secondo la visione di G. Peano, una forma superiore di logica; per questa ragione si fa sempre più comune la convinzione che il suo impiego non porti direttamente alla certezza dei contenuti delle proposizioni espresse, ma garantisca soltanto una procedura sicura per trarre il massimo di certezza possibile da certe premesse, le quali possono da parte loro essere anche incerte, come lo sono, per esempio, tipicamente quelle che si ricollegano al calcolo delle probabilità.

4. Vale la pena di ricordare che nella impostazione di Laplace del calcolo delle probabilità trova la sua sanzione la cosiddetta impostazione *frequentistica* o anche *oggettiva* del concetto di probabilità; in questa impostazione la probabilità viene definita come il rapporto tra il numero dei casi favorevoli ad un determinato evento e quello dei casi possibili, purché questi ultimi siano tutti ugualmente possibili. Le dispute sul significato reale di questa clausola e sui criteri che possono permettere di accertare la sua validità durano da più di un secolo. In questa discussione rientra ovviamente anche la disputa sulla portata reale degli sviluppi del calcolo delle probabilità, e quindi anche sulle sue capacità di previsione e sul significato delle decisioni prese a partire dalle sue prescrizioni. Le discussioni ancora in atto sul significato della legge empirica dei grandi numeri (da alcuni chiamata addirittura teorema, da altri postulato empirico, e da altri ancora con altri nomi) dimostrano che questi problemi sono sempre alla moda, perché hanno come argomento il significato della nostra conoscenza, la capacità della nostra ragione, la portata dei nostri procedimenti di induzione. La discussione si ricollega ovviamente anche alla critica delle conoscenze che era stata fatta da Hume ed al tentativo di ricondurre il fondamento dei procedimenti induttivi a pure basi psicologiche. Non intendiamo adentrarci qui nella discussione, che appare di natura strettamente filosofi-

ca; ci limitiamo ad osservare che questa problematica può essere considerata abbastanza lontana da quella che interessa noi in questa sede, perché abbiamo già osservato che la matematica, nella sua evoluzione storica, si presenta sempre di più come una dottrina della deduzione. Vogliamo soltanto ricordare qui il teorema che viene abitualmente richiamato come teorema limite del calcolo delle probabilità; questo potrebbe essere enunciato in modo suggestivo dicendo che quando un evento può essere considerato come provocato da moltissime cause, ognuna delle quali ha un effetto molto piccolo, sotto determinate condizioni matematiche che non stiamo a precisare, l'evento si può considerare come se fosse retto dalla legge normale di probabilità, e precisamente da una legge analoga a quella che C. F. Gauss aveva escogitato per dominare gli errori casuali di osservazione.

È chiaro che questo teorema non contribuisce a dirimere la questione che riguarda i fondamenti del processo scientifico di induzione; infatti si può osservare che l'applicazione del teorema limite implica la valutazione concreta, caso per caso, della piccolezza delle cause di un fenomeno; e ricordiamo che una valutazione cosiffatta contiene sempre quel minimo di ipotetico e di provvisorio che abbiamo incontrato nella discussione della impostazione galileiana della matematizzazione della realtà fisica, attraverso la scelta del fenomeno da considerarsi come veramente importante e quindi principale di una certa teoria.

5. Queste difficoltà costituiscono altrettanti solchi che dividono la teoria matematica dalla realtà e quindi pongono dei limiti alla validità di una matematizzazione completa della conoscenza scientifica; esse tuttavia non hanno impedito l'evoluzione della matematica in particolare e della scienza in generale, evoluzione che — come abbiamo detto — doveva portare la matematica ad estendere il proprio dominio ben al di là della portata che le era tradizionalmente riconosciuta. In particolare ricordiamo qui la algebrizzazione della logica, che ha il suo inizio con le opere del Boole e che apre nuove strade verso la concezione moderna della matematica.