

DIDATTICA DELLE SCIENZE

Bimestrale per l'insegnamento delle scienze e della matematica

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

Numero 99 dell'aprile 1982

Sommario

- 3 GIOVANNI PEZZATINI - FABIO OLMI, Riflessioni e proposte per un nuovo insegnamento della chimica nella scuola secondaria superiore. Parte II: metodi, contenuti, verifiche e realizzazioni del cambiamento proposto
- 10 CARLO FELICE MANARA, La matematizzazione della realtà nei suoi sviluppi storici. 4 - La concezione di Einstein e la geometrizzazione della fisica
- 13 DARIO ANTISERI, Quando le idee religiose influiscono positivamente sullo sviluppo della scienza
- 15 GIORGIO BOGANI - MARIAGRAZIA COSTA - GINETTO OLIVIERI PASSERI, Schede di elettrochimica
- 19 GAETANA GADOLINI, L'appennino tosco-emiliano
- 24 ALVERO VALETTI, Appunti per una didattica dell'astronomia. 9
- 31 M. DE SANTIS - G. MARUCCI, Un approccio originale al tema « Uomo »
- 33 Recensioni

Fascicolo di 36 pagine più inserto redazionale.

Inserto

Proseguendo il discorso sui Miceti, la presente puntata tratta del loro sfruttamento in campo industriale. La crisi petrolifera ha fatto ritornare economica la produzione di etanolo per via biosintetica. Ma anche la produzione di vino, birra, pane, formaggio costituisce un campo di studio ampio, interessante, alla portata di tutti, verificabile nell'esperienza quotidiana.

In copertina

La nebulosa irregolare diffusa NGC 1976 - M 42, nota come nebulosa di Orione dal nome della costellazione, dove si trova insieme alla vicina NGC 1982 - M 43. È visibile ad occhio nudo. La nebulosa principale è resa visibile da un complesso sistema di stelle note come θ Orionis, le cui stelle principali costituiscono il noto trapezio, visibile anche con deboli strumenti. La nebulosa è ritenuta sede di stelle in formazione e dista dal Sole circa 1500 anniluce.

LA MATEMATIZZAZIONE DELLA REALTÀ NEI SUOI SVILUPPI STORICI. 4

La concezione di Einstein e la geometrizzazione della fisica

1. Abbiamo visto che la matematizzazione della nostra conoscenza del mondo, in particolare del mondo della natura inorganica, della fisica e della chimica, si esplica nella utilizzazione di un determinato linguaggio simbolico per esprimere i contenuti dell'esperienza e per dedurre, dalle ipotesi formulate, quelle conseguenze che possono essere verificate oppure vanificate dall'esperienza, e quindi possono confermare oppure invalidare le ipotesi formulate; e in definitiva, quindi, per raggiungere un modello sempre più adeguato della realtà che percepiamo. Abbiamo visto che questa matematizzazione ha il suo punto iniziale in una situazione nella quale la misura delle grandezze è la operazione principale e la proporzionalità costituisce una specie di ipotesi fondamentale, sottostante e spesso inconscia, della rappresentazione della realtà. Questa si sviluppa poi in ambiti sempre più vasti, inglobando non soltanto i fenomeni della meccanica, ma anche quelli del calore ed in genere i fenomeni irreversibili, che sono tipici per esempio della biologia e delle scienze sociali.

Abbiamo anche visto che, in questo ordine di idee, la matematizzazione segue la strada che conduce ad una specie di situazione ideale della conoscenza scientifica, almeno secondo i canoni abitualmente ammessi; questi vogliono che le esperienze, dalle quali parte la conoscenza della natura, siano in qualche modo ripetibili, o almeno in linea di principio possano essere controllate, possano essere descritte in modo distaccato ed obiettivo, possano diventare patrimonio comune di tutti gli uomini e non soltanto di alcuni privilegiati. È questa una condizione necessaria, non sufficiente, perché si possa in qualche modo garantire la obietti-

ività della conoscenza scientifica, cioè si possa aspirare alla garanzia che questa non discende dall'illusione, dall'allucinazione, dall'attività psichica interiore che non è in alcun modo, neppure in linea di principio, comunicabile in modo da permettere il controllo delle esperienze del singolo da un altro osservatore qualsivoglia. In altre parole si potrebbe dire che la intersoggettività viene comunemente considerata come una condizione per la obiettività dell'esperienza, e spesso anche viene confusa con questa. Ordinariamente ci si sforza di raggiungere questa intersoggettività con la descrizione accurata dei protocolli delle osservazioni o degli esperimenti, in modo che in ogni laboratorio e da ogni osservatore, almeno in linea di principio, potrebbe essere ripetuta l'esperienza che viene descritta. Occorre ricordare che questa condizione appare a prima vista del tutto naturale, ma non è per nulla pacifica in concreto. Infatti l'esperimento di laboratorio, che voglia essere veramente all'avanguardia della ricerca scientifica, richiede una ingegnosità, una capacità tecnica e talvolta anche una buona dose di fortuna, che non sono per nulla alla portata di tutti i ricercatori o di tutti gli osservatori. Per quanto attiene poi ai fenomeni non ripetibili, come sono tipicamente i fenomeni astronomici, è chiaro che occorre accettare la veridicità dei testimoni, o di coloro che hanno eseguito, in modo più o meno programmato, le osservazioni e le misure.

Abbiamo anche già osservato (n. 95) che nell'operazione di misura viene postulata, in modo più o meno cosciente ed esplicito, la invarianza di un campione (unità di misura) di fronte alle manipolazioni alle quali esso viene sottoposto durante l'ope-

razione. Aggiungiamo qui che nella concezione classica della meccanica razionale, aderente alla impostazione newtoniana ed in tutte quelle che vi fanno capo, era anche supposta senza discussione la possibilità di individuare la posizione di un punto e la coordinata temporale di un evento fisico, senza che vi fossero differenze tra un osservatore ed un altro qualsivoglia; in altre parole si potrebbe dire che l'obiettività delle osservazioni, e delle misure che ne scaturivano, era considerata come sussistente, senza che nascessero dubbi nei riguardi della concezione dello spazio e del tempo che ne conseguivano. Soltanto una critica posteriore doveva giungere a porre certe domande, come per esempio quelle che riguardano la controllabilità concreta, effettiva, mediante segnali fisici (e non mediante immagini fantastiche), della contemporaneità di due eventi fisici.

Quando si imbecca questa strada, si è presto condotti ad ammettere che nella concreta pratica sperimentale non è possibile una trasmissione di segnali che sia istantanea in senso assoluto, e che invece ogni trasmissione di segnali ha una velocità finita (anche se molto alta, per gli usi della pratica e per le considerazioni abituali della meccanica razionale classica); questa ammissione porta come conseguenza una revisione radicale del modo di concepire le leggi fisiche e conduce ad una impostazione che potrebbe essere chiamata, nel senso che vedremo, una geometrizzazione della fisica.

È stato detto autorevolmente che questa impostazione apre la via al neopositivismo, ma si può obiettare che le conclusioni filosofiche che vengono tratte da questo nuovo modo di vedere le cose non sono autorizzate

dalla fisica, né sono conseguenze necessarie delle teorie di questa: le crisi nella visione razionale della natura, a nostro parere, sono spesso dovute alla abitudine di introdurre nella nostra immagine della realtà extrapolazioni fantastiche dell'esperienza sensibile, attribuendole poi ad una non bene specificata « intuizione » che — come abbiamo detto — non è affatto la conoscenza immediata dei primi principi, di cui si parlava quando in altri tempi si impiegava il termine « intuizione ». Le varie crisi della fisica, in questo ordine di idee, sono quindi state soltanto crisi di una immagine, non di un'analisi logicamente coerente, la quale invece non ha mai smentito i propri fondamenti; questi sono soltanto il postulato che F. Enriques chiama di intelligibilità del reale, ed il postulato di corrispondenza del reale ai nostri mezzi espressivi, siano questi i mezzi della logica tradizionale oppure i simboli della matematica.

Nel caso della meccanica e della fisica classica, l'immaginazione coinvolgeva anche la circostanza della trasmissione dei segnali e delle informazioni, che si presumeva istantanea e che invece, nella realtà, avviene con velocità finita, senza che sia mai possibile superare nella pratica questa limitazione con un dispositivo sperimentale, che arrivi a realizzare ciò che all'immaginazione appare così « intuitivo » e naturale. Da queste osservazioni, che a noi oggi appaiono del tutto pacifiche, ma che furono accettate dai fisici e dai filosofi con una certa difficoltà, scaturì la necessità di cambiare il nostro modo di presentare la matematizzazione della realtà sperimentale. Come abbiamo detto, le osservazioni che faremo sono del tutto ovvie, tuttavia per comprenderle bene in tutta la loro portata conviene fare una digressione nel campo della geometria.

2. Nel corso del secolo XIX la geometria aveva vissuto una delle sue crisi più importanti, e ne era uscita con l'adozione di una nuova immagine di se stessa, immagine che è stata poi trasferita ed estesa a tutta la matematica. Per comprendere il significato di questa svolta molto importante, ricordiamo che la geometria era stata sempre considerata, prima di questa crisi, come una scienza di contenuti, specificata da questi e di

conseguenza definita in base a questi. Che cosa fosse poi in concreto il contenuto della geometria, l'oggetto dei suoi studi, non era ben chiaro forse neppure a coloro che definivano la geometria in questi termini: invero tale oggetto veniva di volta in volta identificato nella « estensione » o nella « quantità estesa », nello « spazio geometrico » e così via. Quali che fossero queste definizioni, si può ragionevolmente pensare che, per esempio, in Euclide i postulati avessero per oggetto certe cose che esistono nella realtà e che possono essere manipolate; tuttavia anche questo non è completamente certo, perché, per esempio, troviamo, ancora in Euclide, frasi che precisano il senso dei termini che vengono adoperati; e tali frasi tuttavia non presumono di essere definizioni, secondo i canoni della logica i quali vogliono che le definizioni propriamente dette siano fatte « *per genus et differentiam* ».

L'invenzione delle geometrie non euclidee e soprattutto la dimostrazione della loro coerenza logica, addirittura con i mezzi forniti dalla geometria euclidea, portò come conseguenza la necessità di abbandonare l'immagine classica della geometria, per adottare quella di sistema ipotetico-deduttivo. In una concezione così fatta la definizione, degli enti di cui si parla non viene data con frasi che ne precisino la natura, nel senso abituale del termine, ma viene ottenuta in forma implicita, precisando la grammatica logica cioè l'insieme delle proposizioni e degli enunciati che si assumono come primitivi e che sono scelti con una certa libertà; tali proposizioni primitive non pretendono più di riprodurre una realtà evidente fuori di noi, ma debbono soddisfare alla sola condizione di non essere contraddittorie tra loro. Nel caso della geometria, esse sono suggerite dalle nostre esperienze sugli oggetti estesi sensibilmente rigidi, senza tuttavia pretendere di essere inoppugnabili, perché riproducono una certa realtà fisica secondo quelle approssimazioni di cui abbiamo detto (n. 95).

Insieme con questa nuova concezione della geometria, si faceva strada anche tutto un fiorire di *geometrie* più o meno convenzionali, che possono essere considerate come *estensioni* (nel senso generico del termine) della geometria classica. La vi-

sione unificatrice in questa branca della scienza (e di conseguenza anche in altre, come vedremo) fu data da F. Klein in una sua celebre dissertazione inaugurale, che viene spesso richiamata con l'espressione « Programma di Erlangen ». In tale dissertazione il Klein ricollega ogni geometria ad una struttura algebrica che anche oggi viene considerata di importanza fondamentale: la struttura di gruppo. Nelle idee di Klein, lo scopo di ogni geometria viene precisato nella ricerca di invarianti rispetto a certi gruppi di trasformazioni a cui sono sottoposti gli enti dello spazio; la subordinazione di una geometria ad un'altra viene ricondotta alla relazione tra gruppo e sottogruppo. Questa visione kleiniana permette di superare la situazione in certo modo paradossale che si presenta quando si adottano i metodi della geometria analitica e della geometria differenziale: adottando immagini suggestive, si potrebbe dire che la geometria analitica introduce necessariamente, nella descrizione degli enti geometrici, elementi arbitrari e convenzionali; questi sono, per esempio, l'unità di misura dei segmenti ed i sistemi di riferimento. Tuttavia la geometria analitica mira a costruire ed a mettere in evidenza proprietà che sono indipendenti dalla arbitrarietà delle scelte convenzionali, che pure, nello spirito di questi metodi, sono indispensabili. Per esempio nel piano euclideo classico e con un sistema cartesiano ortogonale monometrico, se è data una coppia di punti le quattro coordinate di questi cambiano al variare della scelta degli assi; ma si può costruire con tali coordinate una funzione, e precisamente quella che esprime la distanza a norma del teorema di Pitagora, che risulta invariante rispetto ad ogni cambiamento del riferimento. Tale funzione esprime quindi una proprietà geometrica obbiettiva della coppia di punti considerata, perché esprime qualche cosa che rimane costante di fronte a tutti i cambiamenti generati dalle differenti scelte degli elementi convenzionali.

3. Ciò che abbiamo esposto brevemente nei riguardi della geometria e dei suoi metodi si può trasferire alla fisica ed alla sua problematica di ricerca delle proprietà obbiettive delle cose, al di sotto delle apparenze va-

riabili. Invero le osservazioni sulla necessaria finitezza della velocità di trasmissione dei segnali, insieme con altre osservazioni riguardanti il significato della geometria dello spazio fisico, condussero la fisica a concludere che non esistono riferimenti privilegiati, nello spazio e nel tempo. Con linguaggio forse anche troppo suggestivo, si potrebbe esprimere questo fatto dicendo che non esistono uno spazio assoluto ed un tempo assoluto, quali erano stati postulati da Newton. Ne consegue che ogni osservatore ha diritto di descrivere i fenomeni fisici con il proprio sistema di riferimento spazio-temporale e con le proprie unità di misura. Tale descrizione dell'universo fisico si traduce in relazioni matematiche, per esempio in equazioni finite o differenziali. Questa descrizione, queste misure che l'osservatore fa, non hanno tuttavia un significato che sia valido per ogni altro osservatore; ma è possibile dare formule di passaggio, di trasformazione delle leggi della fisica, formule che riproducono i cambiamenti che vanno introdotti nelle relazioni e nelle equazioni quando si passa dal quadro dell'universo dato da un osservatore a quello dato da un altro; tali formule sono analoghe, anche se non perfettamente uguali, alle leggi che danno i cambiamenti delle coordinate dei punti quando si cambia il sistema di riferimento in geometria. Ciò che interessa il fisico, ciò che permette di raggiungere la intersoggettività e quindi anche un certo tipo di obiettività delle descrizioni in questione è la ricerca delle proprietà che sono invarianti rispetto al gruppo di operazioni dato dai cambiamenti di riferimento spazio-temporale.

Alla fine del secolo XIX la geometria differenziale aveva sviluppato dei metodi per la ricerca di invarianti cosiffatti, per merito di G. Ricci Curvastro e T. Levi Civita; appare quindi naturale che questi metodi siano stati adottati per scrivere le equazioni che traducono le leggi della fisica. In questo ordine di idee parliamo qui di una *geometrizzazione* della fisica; non ovviamente nel senso, inteso da certa volgarizzazione drammatizzante, che vorrebbe far credere alla assimilazione dello spazio e del tempo. Si tratta invece di una teorizzazione, di una razionalizzazione delle nostre esperienze, che tiene

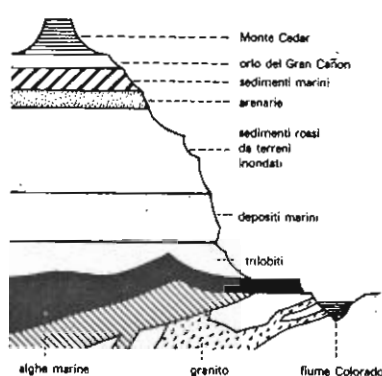
conto dei soli dati della realtà, senza introdurre ingredienti che dipendono dall'immaginazione, ma che non sono richiesti dall'evidenza sperimentale e dalla logica. Questa impostazione ha generato una certa crisi nella nostra concezione della conoscenza fisica dell'universo; va osservato che analoghe crisi sono avvenute, per esempio, in occasione della introduzione di una essenziale discontinuità nel modello della fisica atomica, come è accaduto con la quantizzazione dell'azione, col «quanto» di Planck. Questa introduzione è stata ormai assimilata ed accettata dai fisici, ed è perfettamente logica perché nessun dato dell'esperienza autorizzava ad adottare lo schema della continuità della materia e dell'energia, come è invece richiesto dalla immaginazione che si fa passare per intuizione. Al contrario i dati dell'esperienza depongono a favore di una essenziale discontinuità della materia; discontinuità che era già stata adottata con lo schema atomico, richiesto necessariamente dai dati della fisica e della chimica, ben prima che la possibilità tecnica di osservazione diretta potesse permettere di osservare l'esistenza di particelle elementari. Pertanto si potrebbe dire che l'ipotesi atomica, nei suoi primi sviluppi almeno, è un caso tipico di teoria che procede per ipotesi e verifiche sperimentali e descrive certe « cose » che non si vedono direttamente.

In modo analogo, così come la struttura atomica della materia era un'ipotesi all'epoca in cui fu formulata, sono ipotesi le teorie sulla costituzione dei nuclei e delle particelle subatomiche che vengono di volta in volta formulate per rendere ragione dei fatti sperimentali. Il solo limite a queste formulazioni è dato da una parte dalla coerenza delle proposizioni primitive della teoria, e dall'altra dal postulato di intelligibilità del reale, che accetta in ogni caso lo schema deduttivo di cui abbiamo più volte parlato.

4. La geometrizzazione della fisica che è dovuta alla impostazione einsteiniana della gravitazione e della relatività generale può quindi essere considerata come un episodio della costruzione di una teoria coerente della materia e dell'energia. Non è detto che la gravitazione della relati-

vità generale sia una teoria intramontabile; ma appare sempre vero che essa rientra in quella sana impostazione positivista che vuole sempre che soltanto l'esperienza sia la base sulla quale si debbono fondare le teorie valide.

NOVITA'



**LESSICO
DI GEOGRAFIA**

Oltre 2.200 voci, più di 400 illustrazioni: un discorso non tanto sul «mondo», quanto sul «mondo dell'uomo», con una quantità di informazioni sull'agricoltura, l'industria, i trasporti, i modi di vita ed i loro riflessi sull'ambiente e la vita umana.

7004 - pp. 312, L. 9.000

editrice
La Scuola