

Appendice 5

La relatività e il problema dello spazio (1950)

in Id., *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Boringhieri, Torino, 1988, pp. 486-493

La fisica newtoniana ha la caratteristica di attribuire un'effettiva esistenza indipendente tanto allo spazio e al tempo quanto alla materia. Nella legge del moto di Newton compare infatti il concetto di accelerazione; ma, in questa teoria, l'accelerazione può soltanto denotare «accelerazione rispetto allo spazio»: lo spazio di Newton deve perciò venir pensato come «in quiete» o perlomeno «non accelerato», per poter considerare l'accelerazione, che compare nella legge del moto, come una grandezza fornita di significato. Su per giù la stessa cosa vale per il tempo, il quale ovviamente entra del pari nel concetto di accelerazione. Lo stesso Newton e i più critici fra i suoi contemporanei provavano un certo disagio a dover attribuire una realtà fisica tanto allo spazio stesso quanto al suo stato di moto; non esisteva però a quel tempo altra alternativa, se si voleva dare alla meccanica un significato chiaro e preciso.

È invero un requisito gravoso il dover attribuire una realtà fisica allo spazio in generale e specialmente allo spazio vuoto. Fin dai tempi più remoti, i filosofi sono stati più e più volte contrari a tale congettura. Descartes discusse la cosa all'incirca in questi termini: lo spazio è essenzialmente identico all'estensione, ma l'estensione è connessa ai corpi; non esiste dunque spazio senza corpi, cioè non esiste spazio vuoto. La debolezza di questa argomentazione risiede principalmente in quanto segue. È certamente vero che il concetto di estensione deve la sua origine alle nostre esperienze nel disporre o porre in contatto corpi solidi. Ma da ciò non è lecito concludere che il concetto di estensione non risulti giustificato in casi che di per sé non hanno dato ori-

gine alla formazione di questo concetto. Un siffatto ampliamento di concetti può anche venire indirettamente giustificato dalla sua efficacia per la comprensione di risultati empirici. L'asserire che l'estensione è limitata ai corpi risulta dunque di per sé certamente infondato. Vedremo più avanti, però, che la teoria della relatività generale conferma in maniera indiretta la concezione cartesiana. Ciò che condusse Descartes alla sua suggestiva ipotesi fu certo la sensazione che, senza una necessità assoluta, non si dovrebbe attribuire realtà a un oggetto come lo spazio, che non è suscettibile di essere «direttamente sperimentato».¹

L'origine psicologica del concetto di spazio, o della necessità di esso, è lungi dall'essere così ovvia come potrebbe apparire in base al nostro abituale modo di pensare. Gli antichi geometri trattano di oggetti mentali (retta, punto, superficie), ma non propriamente dello spazio in quanto tale, come più tardi è stato fatto dalla geometria analitica. Il concetto di spazio, tuttavia, è suggerito da certe esperienze primitive. Supponiamo che si sia costruita una scatola. Vi si possono disporre in un certo ordine degli oggetti, in modo che essa risulti piena. La possibilità di queste disposizioni è una proprietà dell'oggetto «scatola», qualcosa che è dato con la scatola, lo «spazio racchiuso» dalla scatola. Questo è qualcosa di differente per le varie scatole, qualcosa che in modo del tutto naturale viene pensato come indipendente dal fatto che vi siano o no, in generale, oggetti nella scatola. Quando non vi sono oggetti nella scatola, il suo spazio appare «vuoto».

Fin qui, il nostro concetto di spazio è stato associato alla scatola. Ci si accorge però che le possibilità di disposizione che formano lo spazio-scatoletta sono indipendenti dallo spessore delle pareti della scatola. Non sarebbe possibile ridurre a zero tale spessore, senza che si abbia per risultato la perdita dello «spazio»? La naturalezza di tale passaggio al limite è ovvia, e ora rimane al nostro pensiero lo spazio senza scatola, una cosa autonoma, che tuttavia appare così irrealistica se dimentichiamo l'origine di tale concetto. Si può capire che ripugnasse a Descartes il considerare lo spazio come indipendente da oggetti corporei,

¹ Quest'espressione va presa *cum grano salis*.

capace di esistere senza materia.² (Ciò non gli impedisce peraltro di trattare lo spazio come un concetto fondamentale nella sua geometria analitica.) L'aver richiamato l'attenzione sul vuoto nel barometro a mercurio ha certamente disarmato l'ultimo dei cartesiani. Non si deve però negare che, già a questo stadio primitivo, qualcosa di insoddisfacente fosse insito nel concetto di spazio o nello spazio pensato come un oggetto reale autonomo.

Le maniere in cui si possono sistemare i corpi nello spazio (per esempio nella scatola) formano l'argomento della geometria euclidea a tre dimensioni, la cui struttura assiomatica ci induce facilmente nell'errore di dimenticare che essa si riferisce a situazioni percepibili.

Orbene, se il concetto di spazio viene formato nella maniera qui sopra delineata, in connessione all'esperienza del «riempire» la scatola, allora lo spazio è originariamente uno spazio limitato. *Questa limitatezza non appare tuttavia essenziale*; perché manifestamente si può sempre ricorrere a una scatola più grande che contenga quella più piccola. In tal modo lo spazio appare come qualcosa di non limitato.

Non esaminerò qui in che modo la natura tridimensionale ed euclidea dello spazio possa venir fatta risalire a esperienze relativamente primitive, ma per prima cosa considererò da altri punti di vista la parte avuta dal concetto di spazio nello sviluppo del pensiero fisico.

Quando una scatola più piccola s è situata, in quiete relativa, dentro lo spazio cavo di una scatola più grande S , allora lo spazio cavo di s è una parte dello spazio di S , e lo stesso «spazio» che le contiene entrambe appartiene a ciascuna delle due. Quando invece s è in moto rispetto a S , il concetto risulta meno semplice. In tal caso si è inclini a pensare che s racchiuda sempre lo stesso spazio, che è però una parte variabile dello spazio di S . Diviene allora necessario far corrispondere a ciascuna scatola il

² Il tentativo di Kant di rimuovere la difficoltà negando l'oggettività dello spazio, non può tuttavia essere preso sul serio. Le possibilità di disposizione inerenti allo spazio interno di una scatola sono oggettive nello stesso senso in cui lo è la scatola stessa, e gli oggetti che possono essere disposti nell'interno di essa.

suo particolare spazio, non pensato come limitato, e supporre che questi due spazi siano in moto l'uno rispetto all'altro.

Prima che ci si renda conto di questa complicazione, lo spazio appare come un mezzo limitato, o recipiente, nel quale nuotano gli oggetti materiali. Ora invece occorre tener presente che esiste un numero infinito di spazi, i quali sono in moto gli uni rispetto agli altri. Il concetto di spazio come qualcosa che esiste oggettivamente ed è indipendente dalle cose appartiene già al pensiero prescientifico, non così però l'idea dell'esistenza di un numero infinito di spazi in moto gli uni rispetto agli altri. Quest'ultima idea è senza dubbio inevitabile da un punto di vista logico, ma per lungo tempo non svolse una parte importante nemmeno nel pensiero scientifico.

Come stanno le cose circa l'origine psicologica del concetto di tempo? Questo concetto è indubbiamente associato al fatto del «richiamare alla mente», come pure alla differenziazione fra esperienze dei sensi e ricordo di queste ultime. È di per sé dubbio se la differenziazione fra esperienze dei sensi e ricordo (o semplice ripresentazione) sia qualcosa che è direttamente dato alla nostra psiche. Ognuno ha fatto l'esperienza di trovarsi in dubbio se aveva effettivamente percepito qualcosa con i propri sensi o se l'aveva semplicemente sognato. Probabilmente l'abilità nel discriminare fra queste alternative si forma all'inizio come un risultato dell'attività mentale ordinatrice.

Al «ricordo» è associata un'esperienza che è considerata come «precedente» in confronto a «esperienze presenti». Questo è un principio concettuale di ordinamento per le esperienze ricordate; la possibilità di attuarlo dà origine al concetto soggettivo di tempo, cioè a quel concetto di tempo che si riferisce all'ordinamento delle esperienze dell'individuo.

Che cosa intendiamo per oggettivazione del concetto di tempo? Facciamo un esempio. Una persona A («io») percepisce l'esperienza «lampeggia». Intanto la persona A sperimenta pure un comportamento della persona B tale da portare il comportamento di B in relazione con la propria esperienza «lampeggia».

Ne risulta così che *A* collega con *B* l'esperienza «lampeggia». Nella persona *A* nasce l'idea che anche altre persone condividano l'esperienza «lampeggia». «Lampeggia» non viene più interpretato ora come esperienza esclusivamente personale, ma come esperienza (o eventualmente soltanto «esperienza potenziale») di altre persone. Sorge in tal modo l'idea d'interpretare anche come un «evento» (oggettivo) il «lampeggia», che in origine aveva fatto il suo ingresso nella coscienza quale «atto di sperimentare». La somma totale di tutti gli eventi è proprio ciò che noi intendiamo quando parliamo del «mondo reale esterno».

Abbiamo visto che ci troviamo spinti ad attribuire un ordinamento temporale alle nostre esperienze, all'incirca nel modo seguente. Se β è posteriore ad α e γ posteriore a β , allora γ è anche posteriore ad α («successione delle esperienze»). Orbene, che cosa accadrà, sotto quest'aspetto, degli «eventi» che abbiamo associato alle esperienze? A prima vista sembrerebbe ovvio supporre che esista un ordinamento temporale degli eventi, il quale concordi con l'ordinamento temporale delle esperienze. Così venne fatto, in generale, e inconsciamente, finché affiorarono dei dubbi scettici.³ Per giungere all'oggettivazione del mondo, fu ancora necessaria un'ulteriore idea costruttiva: l'evento viene localizzato non soltanto nel tempo, ma altresì nello spazio.

Nei precedenti capoversi abbiamo cercato di descrivere in che modo i concetti di spazio, di tempo e di evento possano essere messi in relazione psicologica con le esperienze. Considerati da un punto di vista logico, essi sono libere creazioni dell'intelletto umano, strumenti del pensiero, che debbono servire allo scopo di porre le esperienze in relazione l'una con l'altra, e di poterle quindi abbracciare meglio con lo sguardo. Il tentativo di rendersi conto delle fonti empiriche di questi concetti fondamentali deve mostrare in quale misura noi siamo effettivamente

³ Ad esempio, l'ordinamento nel tempo delle esperienze ottenuto con mezzi acustici può differire da quello raggiunto visivamente, per modo che non si può identificare semplicemente la successione temporale degli eventi con la successione temporale delle esperienze.

legati a questi concetti. In tal modo diventiamo coscienti della nostra libertà, libertà di cui, in caso di necessità, riesce sempre difficile fare un uso ragionevole.

Abbiamo ancora da aggiungere qualcosa di essenziale a questo schizzo concernente l'origine psicologica dei concetti di spazio, tempo, evento (li chiameremo più brevemente «di natura spaziale», in contrasto con i concetti della sfera psicologica). Abbiamo collegato a esperienze il concetto di spazio facendo uso di scatole e dell'ordinamento in esse di oggetti corporei. Pertanto questa formazione di concetti presuppone di già il concetto di oggetti corporei (per esempio «scatole»). Nello stesso modo, anche le persone, che dovevano venir introdotte per la formazione di un concetto oggettivo di tempo, rivestono a questo riguardo la parte di oggetti corporei. Mi sembra, perciò, che la formazione del concetto di oggetto corporeo debba precedere i nostri concetti di tempo e di spazio.

Tutti questi concetti di natura spaziale appartengono già al pensiero scientifico, insieme con i concetti della sfera psicologica come dolore, meta, scopo ecc. Orbene, è caratteristico del pensiero fisico, come, in generale, di quello della scienza naturale, che esso si sforzi di avvalersi, per principio, di *solli* concetti di natura spaziale, e tenti di esprimere con essi tutte le relazioni aventi forma di legge.

Il fisico tende a ridurre i colori e i toni a vibrazioni, il fisiologo a ridurre il pensiero e il dolore a processi nervosi, in modo che l'elemento psichico in quanto tale risulti eliminato dal nesso causale dell'esistenza, e non compaia quindi mai come anello autonomo nelle connessioni causali. Quest'atteggiamento, che considera come possibile per principio la comprensione di tutte le relazioni mediante l'esclusivo uso di soli concetti di natura spaziale, è indubbiamente ciò che al momento attuale viene inteso con il termine «materialismo» (dopo che la «materia» ha perduto la sua posizione di concetto fondamentale).

Perché mai è necessario trascinare giù dalle sfere olimpiche di Platone i concetti fondamentali del pensiero scientifico, e sforzarsi di svelare il loro lignaggio terrestre? Risposta: allo

scopo di liberare questi concetti da una serie di tabù, e pervenire così a una maggiore libertà nella formazione dei concetti. Costituisce il merito imperituro di Hume e di Mach quello di avere, più di tutti gli altri, introdotto questa mentalità critica.

La scienza ha attinto dal pensiero prescientifico i concetti di spazio, di tempo e di oggetto corporeo (con l'importante caso speciale di «corpo solido»), e li ha modificati e resi più precisi. Il primo risultato significativo da essa conseguito è stato lo sviluppo della geometria euclidea, la cui formulazione assiomatica non deve renderci ciechi circa la sua origine empirica (la possibilità di giustapporre corpi solidi). Sono, in particolare, di origine empirica la natura tridimensionale dello spazio, come pure il suo carattere euclideo (il suo poter essere interamente riempito da «cubi» di ugual forma).

La sottigliezza del concetto di spazio fu accresciuta dalla scoperta che non esistono corpi completamente rigidi. Tutti i corpi sono elasticamente deformabili, e alterano il loro volume col variare della temperatura. Le strutture, le cui possibili congruenze debbono venir descritte mediante la geometria euclidea, non possono perciò essere presentate prescindendo dai concetti fisici. Ma poiché la fisica, dopo tutto, deve far uso della geometria per stabilire i propri concetti, il contenuto empirico della geometria deve essere presentato e controllato soltanto nel quadro complessivo della fisica.

Anche la teoria atomica e la sua concezione della divisibilità finita devono venir pensate in questa connessione; infatti gli spazi di estensione subatomica non possono venir misurati. La teoria atomica ci costringe altresì a rinunciare, per principio, all'idea di superfici esattamente e staticamente definite che delimitano i corpi solidi. Rigorosamente parlando, non esistono allora leggi *autonome*, neppure in campo macroscopico, per le forme dei corpi solidi che possono essere messi a contatto.

Nonostante ciò, nessuno pensava di rinunciare al concetto di spazio, giacché esso appariva indispensabile nel sistema complessivo, in alto grado soddisfacente, della scienza naturale. Mach fu l'unico, nel secolo XIX, che pensò seriamente di elimi-

nare il concetto di spazio, in quanto mirava a sostituirlo con la nozione di totalità delle distanze istantanee fra tutti i punti materiali. (Egli fece questo tentativo al fine di pervenire a una comprensione soddisfacente dell'inerzia.)

1. Il campo

Nella meccanica newtoniana, lo spazio e il tempo hanno una duplice funzione. In primo luogo, servono da veicolo o cornice dell'accadere fisico, in riferimento al quale veicolo gli eventi vengono descritti mediante le coordinate spaziali e il tempo. In via di principio, la materia viene pensata come consistente di «punti materiali», i cui movimenti costituiscono l'accadere fisico. Quando la materia viene pensata come continua, ciò viene fatto, per così dire, come qualcosa di provvisorio in quei casi in cui non si vuole o non si può descrivere la struttura discreta. In tal caso piccole parti della materia (elementi di volume) sono trattate come se fossero punti materiali, perlomeno fin quando ci si occupa semplicemente di moti e non di fenomeni che, al momento, non sarebbe possibile o non sarebbe utile ricondurre ai moti (per esempio variazioni di temperatura, processi chimici). La seconda funzione dello spazio e del tempo era quella di porsi come un «sistema inerziale». Fra tutti i sistemi di riferimento concepibili, i sistemi inerziali erano considerati privilegiati in quanto, rispetto a essi, la legge d'inerzia affermava la propria validità.

In tutto ciò, la cosa essenziale è che la «realtà fisica», pensata come indipendente dai soggetti che la sperimentano, era concepita come se consistesse, perlomeno in via di principio, di spazio e tempo da un lato, e dall'altro di punti materiali, in permanenza esistenti, in moto rispetto allo spazio e al tempo. L'idea dell'esistenza autonoma di spazio e di tempo può venire drasticamente espressa in questo modo: se anche la materia dovesse scomparire, spazio e tempo rimarrebbero (come una specie di palcoscenico per gli eventi fisici).

Il superamento di questo punto di vista si ebbe con uno sviluppo che, al primo momento, non sembrava aver nulla a che