

Capitolo primo

La relatività dello spazio¹

I.

È impossibile rappresentarsi lo spazio vuoto. Tutti i nostri sforzi per immaginare uno spazio puro, da cui siano escluse le immagini mutevoli degli oggetti materiali, non possono avere altro risultato che una rappresentazione nella quale le superfici intensamente colorate, ad esempio, sono sostituite da linee di colori tenui, e non potremmo percorrere fino in fondo questa strada perché tutto svanirebbe e finirebbe nel nulla. Da ciò deriva l'irriducibile relatività dello spazio.

Chiunque parli dello spazio assoluto fa uso di una parola priva di senso: una verità, questa, da molto tempo proclamata da tutti coloro che hanno riflettuto al problema, e che troppo spesso si ha tendenza a dimenticare.

Mi trovo in un determinato punto di Parigi, la Place du Panthéon, per fare un esempio, e affermo: ritornerò qui domani. Se qualcuno mi domandasse: «Volete dire che ritornerete proprio nello stesso punto dello spazio?», sarei tentato di rispondergli di sí, e tuttavia avrei torto, poiché di qui a domani la Terra si sarà mossa, trascinando con sé la Place du Panthéon, che avrà così percorso piú di due milioni di chilometri. E se volessi precisare le mie parole, non concluderei nulla, perché questi due milioni di chilometri il nostro pianeta li avrà percorsi nel suo moto rispetto al Sole, e il Sole si muove rispetto alla Via Lattea, e anche quest'ultima è

¹ Questo capitolo riproduce, senza sostanziali modifiche, l'articolo *La relativité de l'espace*, in «L'année psychologique», XIII (1907), pp. 1-17.

di certo in movimento, a una velocità che non siamo in grado di stabilire. Sicché ignoriamo completamente e sempre ignoreremo di quanto si sia spostata in un giorno la Place du Panthéon. Insomma, volevo solo dire questo: «Domani vedrò di nuovo la cupola e il frontone del Panthéon», ma se il Panthéon non esistesse la mia frase non avrebbe alcun senso e lo spazio svanirebbe.

Questa non è che una delle forme più banali del principio di relatività dello spazio; ma ce n'è un'altra, sulla quale Delbœuf ha insistito in modo particolare. Supponiamo che, nel corso di una notte, tutte le dimensioni dell'universo divenissero mille volte più grandi. Il mondo sarà rimasto *simile a se stesso*, se si attribuisce al termine *similitudine* lo stesso significato che ha nel terzo libro degli *Elementi*; sennoché, ciò che aveva un metro di lunghezza misurerà ora un chilometro, ciò che era lungo un millimetro diventerà lungo un metro. Il letto dove dormo e il mio corpo stesso saranno diventati più grandi nella stessa proporzione. Quando mi sveglierò, il mattino seguente, quale sensazione proverò al cospetto di una trasformazione tanto stupefacente? Ebbene, non mi accorgerò proprio di niente. Nemmeno le misure più precise saranno capaci di rivelarmi qualcosa di questo colossale sconvolgimento, poiché i metri dei quali mi servirò avranno variato le loro dimensioni nella stessa proporzione degli oggetti che cercherei di misurare. In realtà, questo sconvolgimento esiste solamente per chi ragiona come se lo spazio fosse assoluto. Se anch'io ho ragionato per un momento come costoro, è stato allo scopo di mostrare meglio che questo modo di vedere implica una contraddizione. In verità, sarebbe meglio dire che, siccome lo spazio è relativo, non è accaduto assolutamente niente, e che proprio per questa ragione non ci siamo accorti di niente.

È dunque legittimo affermare che si conosce la distanza tra due punti? No, poiché questa distanza potrebbe subire delle enormi variazioni delle quali ci sarebbe impossibile accorgerci qualora tutte le altre distanze si fossero modificate

nella stessa proporzione. Abbiamo appena visto che quando dico: «Sarò qui domani», ciò non vuol dire: «Domani sarò nello stesso punto dello spazio in cui mi trovo oggi», bensì: «Domani mi troverò alla stessa distanza dal Panthéon di oggi». Ed ecco che anche questo enunciato non è sufficiente, e devo dire: «Domani come oggi la mia distanza dal Panthéon sarà uguale a uno stesso numero di volte la lunghezza del mio corpo».

Ma non è tutto; ho supposto che le distanze del mondo cambiassero, ma che il mondo rimanesse quantomeno simile a se stesso. Ma possiamo anche spingerci oltre, e una delle più stupefacenti teorie dei fisici moderni ce ne offre l'occasione. Secondo Lorentz e Fitzgerald*, tutti i corpi che sono trascinati nel moto della Terra subiscono una deformazione. Questa deformazione è per la verità molto piccola, poiché le dimensioni parallele al moto della Terra diminuirebbero di un centomilionesimo, mentre le dimensioni perpendicolari a questo moto rimarrebbero inalterate. Ma poco importa che sia piccola, è sufficiente che esista per suffragare la conclusione alla quale fra poco arriverò. E d'altronde, anche se ho detto che è piccola, in realtà non posso assolutamente saperlo: io stesso sono caduto vittima della tenace illusione che ci fa credere di pensare a uno spazio assoluto: ho pensato al moto della Terra sulla sua orbita ellittica intorno al Sole e ho assunto la sua velocità pari a circa 30 chilometri al secondo. Ma la sua vera velocità (intendo, questa volta, non la sua velocità assoluta, il che non ha alcun senso, ma la sua velocità rispetto all'etere), non la conosco, né ho alcun modo di conoscerla: potrebbe essere 10, 100 volte più elevata, e allora anche la deformazione sarebbe 100, 10000 volte maggiore.

Possiamo forse rilevare questa deformazione? Evidentemente no. Consideriamo un cubo i cui lati sono lunghi un metro. In conseguenza dello spostamento della Terra esso

* *Infra*, libro III, cap. II.

si deforma, uno dei suoi spigoli, quello parallelo al moto, si accorcia, la lunghezza degli altri non varia. Se voglio accertarmi di questi fenomeni facendo uso di un metro, misurerò innanzitutto uno degli spigoli perpendicolari al moto e constaterò che il mio metro combacia perfettamente con tale spigolo; in effetti, né l'una né l'altra delle due grandezze è stata alterata, poiché sono entrambe perpendicolari al moto. Voglio ora misurare l'altro spigolo, quello parallelo al moto; a questo scopo, sposto il mio metro, ruotandolo fino a farlo corrispondere con lo spigolo. Avendo cambiato orientazione ed essendo diventato parallelo al moto, il metro si sarà deformato a sua volta, in modo da combaciare perfettamente con lo spigolo, anche se la lunghezza di quest'ultimo non sarà più uguale a un metro, e io non potrò accorgermi di niente.

Mi si domanderà qual è allora l'utilità dell'ipotesi di Lorentz e Fitzgerald se nessun esperimento permette di verificarla. Il punto è che la mia esposizione dei fatti è stata incompleta. Ho parlato solo delle misure che si possono eseguire con un metro; ma si può anche misurare una lunghezza mediante il tempo che la luce impiega a percorrerla, a condizione di assumere che la velocità della luce sia costante e indipendente dalla direzione. Lorentz avrebbe potuto spiegare i fatti supponendo che la velocità della luce è maggiore nella direzione del moto della Terra che nella direzione perpendicolare. Ha preferito assumere che la velocità della luce sia la stessa in queste diverse direzioni, ma che i corpi siano più corti nell'una che nell'altra. Se i fronti d'onda della luce subissero le stesse deformazioni dei corpi materiali, non ci saremmo mai accorti della deformazione di Lorentz-Fitzgerald.

In un caso come nell'altro, non è mai questione di grandezze assolute, bensì della misura di una grandezza mediante uno strumento qualsiasi, che può essere tanto un metro quanto il cammino percorso dalla luce: misuriamo soltanto il

rapporto cambia, non abbiamo alcun modo di sapere se a variare sia stata la grandezza o lo strumento.

D'altra parte, in questa deformazione – voglio che sia chiaro – il mondo non è rimasto simile a se stesso; i quadrati sono diventati rettangoli o parallelogrammi, le circonferenze ellissi, le sfere ellissoidi. Ciò nonostante non abbiamo alcun modo di sapere se questa deformazione è reale.

È evidente che potremmo spingerci oltre: invece della deformazione di Lorentz-Fitzgerald, regolata com'è da leggi particolarmente semplici, sarebbe possibile immaginare una deformazione del tutto arbitraria. I corpi potrebbero deformarsi secondo leggi qualsiasi, complicate quanto si voglia, e non ci accorgeremmo di niente, purché tutti i corpi, senza eccezione, si deformino secondo le stesse leggi. E quando dico: «tutti i corpi senza eccezione», includo naturalmente anche il nostro stesso corpo e i raggi luminosi emessi dai diversi oggetti.

Se guardassimo il mondo in uno di quegli specchi di forma complicata che deformano gli oggetti in maniera bizzarra, i rapporti delle varie parti del mondo tra di loro rimarrebbero inalterati; se due oggetti reali si toccano, infatti, anche le loro immagini sembrerebbero toccarsi. A dire il vero, guardando in uno specchio di questo genere, ci accorgiamo benissimo della deformazione, ma soltanto perché il mondo reale continua a sussistere accanto alla sua immagine deformata. E quand'anche questo mondo reale ci venisse nascosto, resterebbe sempre qualcosa che sarebbe impossibile nasconderci: noi stessi. Non possiamo cessare di vedere, o quantomeno di percepire, il nostro corpo e le nostre membra, che non hanno subito alcuna deformazione e che continuano a servirci da strumenti di misura. Ma se immaginiamo che si deformi anche il nostro corpo, e si deformi esattamente come se lo vedessimo nello specchio, questi strumenti di misura ci verranno a mancare, e non saremo in grado di rilevare alcuna deformazione.

magine l'uno dell'altro; a ciascun oggetto P dell'universo A corrisponde nell'universo B un oggetto P', che è la sua immagine. Le coordinate dell'immagine P' sono determinate funzioni delle coordinate dell'oggetto P; queste funzioni potranno essere del tutto arbitrarie, mi basta supporre che siano fissate una volta per tutte. Tra la posizione di P e quella di P' sussiste una relazione costante; quale sia questa relazione non ha molta importanza, è sufficiente che sia costante.

Ebbene, questi due universi saranno indistinguibili l'uno dall'altro. Intendo dire che il primo universo sarà per i suoi abitanti quel che il secondo è per i suoi. E non potrà essere altrimenti finché essi rimarranno separati. Supponiamo di abitare l'universo A; avremo costruito la nostra scienza e in particolare la nostra geometria. Nel frattempo, gli abitanti dell'universo B avranno costruito una loro scienza, e siccome il loro universo è l'immagine del nostro, anche la loro geometria sarà l'immagine della nostra, o per meglio dire sarà la stessa. Ma se un bel giorno ci si aprisse una finestra sull'universo B, guarderemmo i suoi abitanti con una certa commiserazione: «Poveretti – ci verrebbe da dire – credono di aver creato una geometria, ma ciò che designano con questo nome non è che un'immagine grottesca della nostra, le loro rette sono tutte storte, i loro cerchi bitorzoluti, le loro sfere presentano capricciose irregolarità». E non c'è da dubitare che quelli, a loro volta, diranno lo stesso di noi, né si potrà mai sapere chi abbia ragione.

Come si vede, la relatività dello spazio va intesa in senso molto ampio: lo spazio è in realtà amorfo e solo le cose che sono al suo interno gli danno una forma. Che cosa dobbiamo pensare allora dell'intuizione immediata che ci pare di avere di una retta, oppure della distanza? In effetti, della distanza in sé abbiamo un'intuizione così debole che in una notte – l'abbiamo già detto – una distanza potrebbe aumentare di mille a nostra insaputa, se tutte le altre distanze subissero la stessa variazione. E addirittura, in una notte l'universo B potrebbe prendere il posto dell'universo A, senza

che noi si abbia alcun modo di saperlo: le linee rette di ieri avrebbero cessato di essere rette, ma non ci saremmo accorti di niente.

Una porzione dello spazio non è di per se stessa e nel senso assoluto del termine uguale a un'altra porzione; se lo è, infatti, nel nostro giudizio, non lo sarà per gli abitanti dell'universo B, i quali avranno tante ragioni per non accettare la nostra opinione quante noi per respingere la loro.

Ho già illustrato in altri miei scritti² quali conseguenze derivino da questi fatti per quel che riguarda l'idea che dobbiamo farci della geometria non euclidea e di altre geometrie analoghe; non voglio ripetermi, tanto più che ho intenzione di adottare qui un punto di vista leggermente diverso.

2.

Se questa intuizione della distanza, della direzione, della linea retta, se, in una parola, questa intuizione diretta dello spazio non esiste, come mai crediamo di averla? Se non si tratta che di un'illusione, come mai questa illusione è così tenace? Ecco le questioni che bisogna esaminare. Come abbiamo detto, non esiste alcuna intuizione diretta della grandezza, e non possiamo rilevare che il rapporto tra questa grandezza e i nostri strumenti di misura. Ci sarebbe stato pertanto impossibile costruire lo spazio se non avessimo avuto uno strumento per misurarlo; ebbene, questo strumento, al quale rapportiamo tutto, quello del quale ci serviamo istintivamente, altro non è che il nostro corpo. È in rapporto al nostro corpo che situiamo gli oggetti esterni, e le uniche relazioni spaziali di questi oggetti che ci possiamo rappresentare sono le relazioni con il nostro corpo. È il no-

² Si veda, ad esempio, l'articolo *Les géométries non-euclidiennes*, in «Revue générale des sciences pures et appliquées», II (1891), pp. 769-74 (ripreso nel capitolo III di *La science et l'hypothèse*).

stro corpo che ci serve, per così dire, da sistema di assi coordinati.

Per fare un esempio, immaginiamo che, in un certo istante α , il senso della vista mi indichi la presenza dell'oggetto A; e in un altro istante β , un altro senso, ad esempio l'udito o il tatto, mi indichi la presenza di un altro oggetto B. Giudico che questo oggetto B occupa la stessa posizione dell'oggetto A. Che cosa vuol dire? Innanzi tutto, non significa che i due oggetti occupino, in due istanti diversi, uno stesso punto dello spazio assoluto, il quale, se anche esistesse, si sottrarrebbe alla nostra conoscenza; tra i due istanti α e β , infatti, il sistema solare si è mosso e non possiamo conoscere il suo spostamento. Significa che i due oggetti occupano la stessa posizione relativa rispetto al nostro corpo.

Ma anche questo che cosa vuol dire? Le impressioni prodotte da quei due oggetti hanno seguito percorsi del tutto differenti, sono passate attraverso il nervo ottico nel caso dell'oggetto A, attraverso il nervo acustico nel caso dell'oggetto B. Esse non hanno nulla in comune dal punto di vista qualitativo. Dei due oggetti possiamo formarci, dunque, rappresentazioni che sono assolutamente eterogenee, che è impossibile ridurre l'una all'altra. Ma so che per raggiungere l'oggetto A non devo far altro che allungare il braccio destro in un certo modo; anche senza compiere il gesto, mi rappresento le sensazioni muscolari e le altre sensazioni analoghe che accompagnerebbero l'estensione del braccio, e associo questa rappresentazione a quella dell'oggetto A. Ora, so che posso raggiungere anche l'oggetto B allungando il braccio destro nello stesso modo, estensione che sarà accompagnata dallo stesso stuolo di sensazioni muscolari. Quando dico che i due oggetti occupano la stessa posizione, non intendo dire nient'altro che questo.

So anche che avrei potuto raggiungere l'oggetto A con un altro movimento opportuno del braccio sinistro e mi rappresento le sensazioni muscolari che avrebbero accompagnato questo movimento; e con lo stesso movimento, ac-

compagnato dalle stesse sensazioni, avrei potuto ugualmente raggiungere l'oggetto B.

Questo fatto è molto importante: è solo in questa maniera, infatti, che riuscirò a proteggermi dai pericoli che mi minacciano derivanti dall'oggetto A o dall'oggetto B. Per ogni colpo che possa ferirci la natura ha predisposto una o più parate, che ci permettono di difenderci. Una stessa parata può rintuzzare colpi diversi: è così, ad esempio, che uno stesso movimento del braccio destro ci avrebbe permesso tanto di difenderci dall'oggetto A nell'istante α , quanto dall'oggetto B nell'istante β . In modo analogo, uno stesso colpo può essere parato in varie maniere; come abbiamo detto, ad esempio, potevamo raggiungere l'oggetto A, indifferentemente, sia con un certo movimento del braccio destro, sia con un certo movimento del braccio sinistro.

Tutte queste parate non hanno niente in comune, tranne il fatto di permettere di schivare il medesimo colpo; ed è nient'altro che questo che intendiamo dire, quando parliamo di movimenti che fanno capo allo stesso punto dello spazio. In modo simile, oggetti che diciamo occupare lo stesso punto dello spazio non hanno niente in comune, tranne il fatto che possiamo difendercene eseguendo una stessa parata.

Oppure, se si preferisce, si immaginino piuttosto innumerevoli fili telegrafici, alcuni centripeti, altri centrifughi. I fili centripeti ci avvertono degli avvenimenti esterni, i fili centrifughi devono porvi rimedio. È stabilita una rete di connessioni che fanno sì che, quando uno dei fili centripeti è percorso da una corrente, questa agisca su un relé e provochi una corrente in uno dei fili centrifughi. Le cose sono organizzate in modo che diversi fili centripeti possano agire su uno stesso filo centrifugo, se uno stesso rimedio è indicato per diversi mali, e che un filo centripeto possa eccitare diversi fili centrifughi, sia simultaneamente, sia in sostituzione l'uno dell'altro, ogni volta che uno stesso male può essere sanato da rimedi diversi.

È questo complesso sistema di associazioni, è questo qua-

dro di distribuzione, per così dire, che costituisce tutta la nostra geometria, o, se si preferisce, tutto ciò che vi è di istintivo nella nostra geometria. Ciò che chiamiamo la nostra intuizione della linea retta o della distanza non è altro che la coscienza che abbiamo di queste associazioni e del loro essere incoercibili.

Non è difficile capire quale sia l'origine della incoercibilità di tali associazioni. Esse ci appaiono tanto più indistruttibili quanto più sono antiche. Ma nella maggior parte dei casi, non sono conquiste dell'individuo, giacché ne vediamo traccia anche nel bambino appena nato: sono conquiste della specie [*race*]. E quanto più erano necessarie, queste conquiste, tanto rapidamente sono state prodotte dalla selezione naturale.

Secondo questo ragionamento, le conquiste di cui stiamo parlando devono essere state tra le prime in ordine temporale, giacché in loro mancanza la difesa dell'organismo sarebbe stata impossibile. Nel momento stesso in cui le cellule non furono più semplicemente giustapposte l'una all'altra, ma destinate a darsi reciproco aiuto, si rese necessario organizzare un meccanismo analogo a quello che abbiamo descritto, affinché questo aiuto non mancasse il bersaglio e potesse prevenire i pericoli.

Se si pone una goccia di acido sulla pelle di una rana che sia stata decapitata, questa cerca di asciugare il punto offeso con la zampa più vicina; e se questa zampa le viene amputata, essa toglie l'acido con l'altra zampa. Questo esempio mostra bene la duplice azione difensiva della quale ho parlato poco fa, che permette di combattere un male con un secondo rimedio, qualora il primo venga a mancare. E lo spazio è proprio questa possibilità di molteplici parate, e la coordinazione che ne risulta.

Si vede a quali profondità dell'inconscio bisogna scendere per trovare le prime tracce di queste associazioni spaziali, dato che vi intervengono soltanto le parti più elementari del sistema nervoso. Come stupirsi, perciò, della resistenza

che opponiamo a dissociare ciò che è associato da così lungo tempo? Ebbene, è questa resistenza stessa che chiamiamo l'evidenza delle verità geometriche; una resistenza che non è altro che la riluttanza che proviamo ad abbandonare vecchissime abitudini, delle quali non abbiamo mai avuto di che lamentarci.

3.

Lo spazio creato in questo modo è un piccolo spazio, che non si estende più lontano di dove non riesca ad arrivare il mio braccio; per dilatare i suoi confini è necessario l'intervento della memoria. Vi sono punti che rimarranno per sempre fuori della mia portata, per quanto mi possa sforzare di allungare la mano. Se fossi ancorato al suolo come un polipo idroide, per esempio, che può solo stendere i suoi tentacoli, tutti questi punti sarebbero al di fuori dello spazio, dato che tutte le sensazioni che potremmo provare a causa di corpi situati in quei punti non sarebbero associate ad alcun movimento che ci permetta di raggiungerli, ad alcuna parata appropriata. Queste sensazioni ci apparirebbero prive di ogni carattere spaziale, e non cercheremmo di localizzarle.

Ma noi non siamo inchiodati al suolo come gli animali inferiori; se il nemico è troppo lontano, possiamo andargli incontro e poi stendere la mano quando gli saremo abbastanza vicino. Anche in questo caso, si tratta di una parata, ma a lungo raggio. Per di più, è una parata complessa, e nella rappresentazione che ce ne formiamo intervengono la rappresentazione delle sensazioni muscolari causate dal movimento delle gambe, quella delle sensazioni causate dal movimento finale del braccio, quella delle sensazioni dei canali semicircolari, e così via. Del resto, non dobbiamo figurarci un complesso [*complexus*] di sensazioni simultanee, bensì un complesso di sensazioni successive, e che si susseguono in