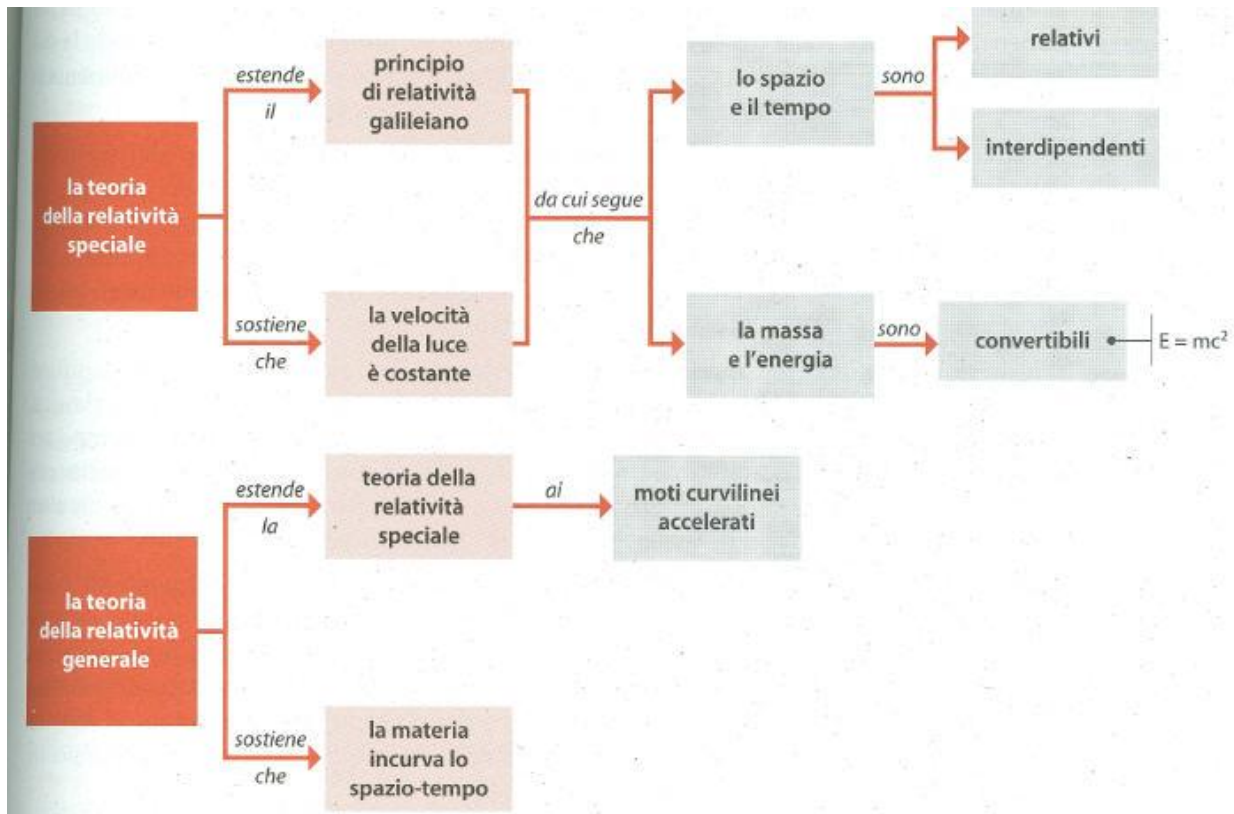


La teoria della relatività



La teoria della **relatività speciale**, o ristretta, è proposta dal tedesco **Albert Einstein** nel 1905. Due sono i capisaldi (o postulati) di tale teoria. Il **primo caposaldo** può considerarsi un'estensione del **principio di relatività galileiano**. Secondo il principio di relatività formulato da Galileo Galilei, all'interno di un sistema rigido in moto rettilineo uniforme, nessuna esperienza meccanica (come, per esempio, la caduta di un grave) può rivelarci se tale sistema si trovi in stato di quiete o di moto rettilineo uniforme. Einstein aggiunge che non può rivelarcelo neppure un'esperienza elettromagnetica, come la propagazione della luce. Tutte le leggi fisiche risultano le stesse per tutti i sistemi di coordinate, i cui moti relativi sono uniformi.

Il **secondo caposaldo** della teoria della relatività speciale riguarda la **costanza della velocità della luce**. Ripetute misure sperimentali avevano dimostrato che la velocità della luce (c) rimane sempre la stessa (circa 300000 km/sec.), qualunque sia lo stato, in quiete o in moto, della sorgente luminosa. In contrasto con la legge galileiana della composizione delle velocità (secondo la quale si sommano velocità che hanno direzione uguale e si sottraggono quelle che hanno direzioni opposte), alla velocità della luce non si può aggiungere né togliere nulla. Tale velocità resta sempre 300 000 km/sec.

Dai due capisaldi citati sopra - l'estensione del principio di relatività galileiano ai fenomeni elettromagnetici e la costanza della velocità della luce - Einstein ricava alcune conseguenze paradossali, e in particolare la **relatività dello spazio e del tempo**. Secondo Einstein, lo spazio e il tempo risultano relativi al corpo che si sceglie

come sistema di riferimento, e, più in particolare, alla velocità con cui tale corpo si muove. Le dimensioni di un oggetto in movimento, con l'aumentare della velocità, si accorciano, e gli intervalli temporali rallentano. La teoria della relatività prevede che un regolo rigido in movimento si accorci se assume una velocità vicina a quella della luce, e che, se raggiunge tale velocità, non abbia più dimensione alcuna. Nelle stesse circostanze, il ritmo di un orologio rallenta, e, quando la sua velocità è pari a quella della luce, si ferma del tutto. Allo stesso modo, via via che aumenta la velocità verso i 300 000 km/sec., rallenta il ritmo di ogni fenomeno.

Dalla relatività degli intervalli temporali, deriva il cosiddetto «**paradosso dei gemelli**». Supponiamo che, di due gemelli, il primo rimanga a terra, mentre il secondo parta per un viaggio spaziale su un missile che possiede una velocità vicina a quella della luce, e quindi ritorni a terra. Quando i due gemelli si ritrovano, il primo (quello che è rimasto a terra) è più vecchio del secondo (quello che ha viaggiato a una velocità vicina a quella della luce). Infatti, per quest'ultimo gemello, il tempo ha rallentato il suo ritmo.

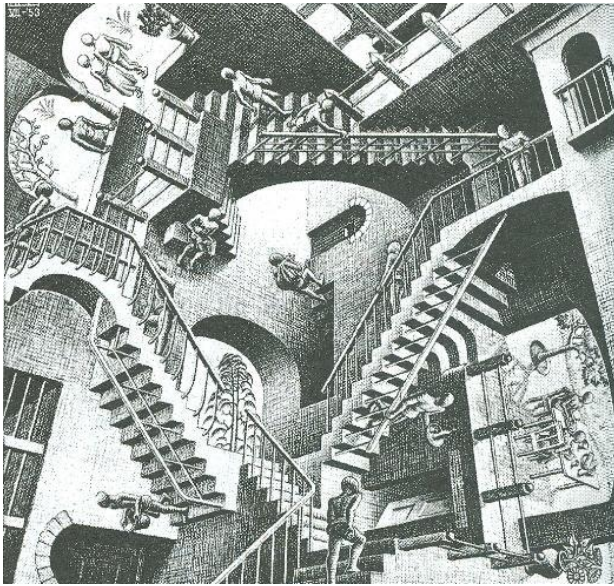
Dalla teoria della relatività speciale si ricavano poi altre conseguenze che vanno ricordate. Innanzi tutto, **diventa relativo anche il concetto di simultaneità**. Secondo la fisica classica, due eventi potevano essere considerati simultanei in senso assoluto, dato che il tempo era inteso come un flusso costante che scorre in maniera continua e regolare. Per Einstein, invece, due eventi che un osservatore registra come simultanei, sono registrati da un altro osservatore, che si muove a una velocità differente, come successivi.

Inoltre, **spazio e tempo non vengono più concepiti come elementi indipendenti l'uno dall'altro**. Appunto perché le dimensioni di un oggetto, la sua forma, lo spazio da esso occupato, dipendono dalla sua velocità, ossia dal tempo che esso impiega a percorrere una certa distanza, la variazione del tempo non lascia inalterate le distanze spaziali, ma influisce su di esse, allungandole o accorciandole. Spazio e tempo sono così considerati un sistema unico e inscindibile, cioè un «**continuo spazio-temporale**» a quattro dimensioni, composto, più precisamente, dalle tre dimensioni o coordinate dello spazio (altezza, lunghezza e larghezza) e dalla quarta dimensione o coordinata del tempo. Questa teoria, è presentata per la prima volta, sul piano matematico, dal lituano **Hermann Minkowski** (1864-1909), che utilizza le formule della teoria della relatività speciale. Minkowski

U. Boccioni, *Forme uniche nella continuità dello spazio*, 1913, bronzo

Il continuo spazio-temporale descritto da Minkowski è rappresentato in questa scultura di Boccioni, in cui il movimento rapido del corpo consente l'espansione dei volumi nello spazio, nella rappresentazione simultanea di più momenti successivi.





M.C. Escher, **Relatività**, 1956, litografia
 Spazio e tempo non sono assoluti, ma vanno considerati all'interno del loro sistema di riferimento: la relatività di Einstein è esemplificata in questa incisione di Escher, in cui sono rappresentati, contemporaneamente, più sistemi di riferimento.

chiama il continuo spazio-temporale «**cronòtopo**» (dal greco *chrónos*, «tempo», e *tópos*, «luogo, spazio»).

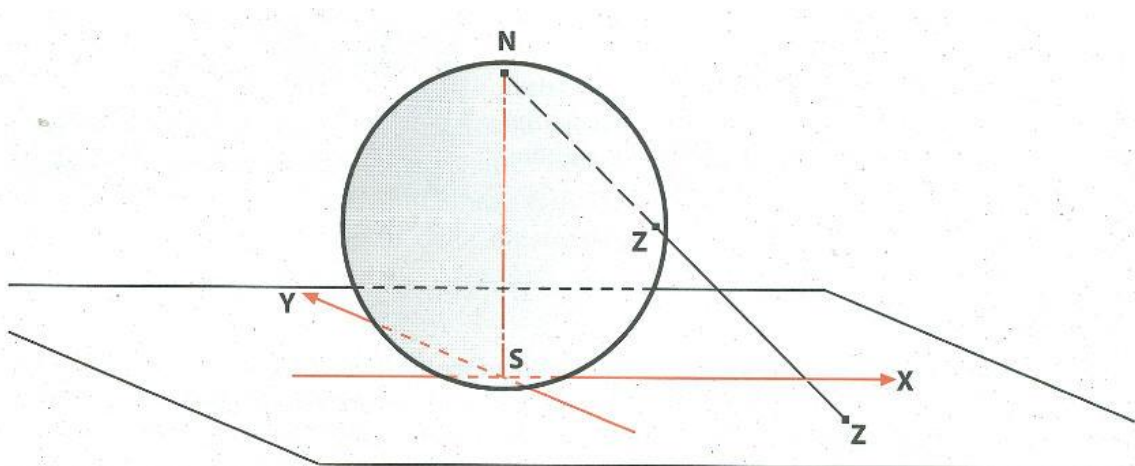
La teoria di Einstein porta, poi, a un'altra singolarissima conseguenza: all'asserzione, cioè, della **convertibilità reciproca di massa ed energia**. La materia, in certe condizioni, scompare e diventa energia. La vecchia distinzione

della meccanica classica fra la massa, dotata di peso e tangibile, e l'energia, imponderabile e invisibile, è superata. Secondo Einstein, infatti, l'energia corrisponde al prodotto della massa per il quadrato della velocità della luce (c): $E = mc^2$.

La teoria della relatività generale

La teoria della relatività speciale interessa i moti rettilinei uniformi e dipendenti dall'inerzia. Ma più tardi, nel 1916, Einstein pensa di allargare la sua teoria anche ai moti curvilinei e accelerati, formulando la teoria della **relatività generale**. Questa teoria mira a unificare sotto un solo principio i moti rettilinei uniformi, dipendenti dall'inerzia, e quelli curvilinei, dipendenti dalla gravità.

Secondo la teoria della relatività generale, la **materia incurva lo spazio-tempo**, facendogli perdere il suo carattere euclideo e rendendo lo simile allo spazio descritto dalla geometria di **Riemann**. A poco a poco, lo spazio-tempo s'incurva fino a chiudersi su se stesso. Per la prima volta, una geometria non euclidea viene utilizzata per l'interpretazione della realtà fisica. Quindi, nello spazio-tempo cosmico, un corpo in movimento segue una traiettoria curva, cioè procede di moto curvilineo e non



Riemann costruì una geometria non euclidea (nella quale valgono tutti i postulati di Euclide tranne il V), di fondamentale importanza per il modello geometrico del cronotopo della teoria della relatività generale di Einstein.

rettilineo. In base a tale teoria, un proiettile di potenza infinita, dopo un certo percorso, tornerebbe al punto iniziale di partenza, ma dalla direzione opposta. Lo spazio-tempo cosmico è dunque **finito** (perché, percorrendolo in una direzione, si finirebbe col ritornare dalla direzione opposta), ma nello stesso tempo **illimitato**. Infatti, proprio perché curvo, l'universo può essere percorso indefinitamente, senza mai incontrare un confine. Lo spazio-tempo è qualcosa di simile alla superficie chiusa di una sfera, che può essere percorsa innumerevoli volte, sia pure ripetendo il medesimo tragitto, senza uscire fuori di essa, senza, cioè, raggiungere una frontiera e oltrepassarla.

La teoria della relatività generale rende non più necessaria la «**forza di gravitazione**» di **Isaac Newton**, una forza misteriosa capace di agire a distanza che aveva suscitato sospetto in alcuni scienziati - per esempio in Leibniz - perché pareva reintrodurre in natura «qualità occulte». Infatti, in base alla teoria di Einstein, **le orbite circolari dei pianeti nello spazio non sono determinate dalla forza di gravitazione, ma dall'incurvarsi dello spazio-tempo in presenza della materia**. Secondo Einstein, per esempio, il movimento rotatorio della Luna intorno alla Terra, non dipende da un'attrazione della Luna da parte della Terra, ma dal fatto che lo spazio-tempo in cui la Luna si muove è curvo. Proprio per questo, il satellite continua a girare attorno al nostro pianeta, senza mai allontanarsene.

Per comprendere meglio questo fatto si può proporre il seguente paragone: il girare di un cavallo attorno a un palo si può spiegare in due modi diversi. Secondo un primo tipo di spiegazione, il cavallo gira perché è legato al palo da una catena, che gli impedisce di allontanarsene. È questa la spiegazione del movimento curvilineo dei pianeti data da Newton (in cui la catena rappresenta la forza di gravitazione). Invece, in base a un secondo tipo di spiegazione, il cavallo gira intorno al palo perché segue una traccia o pista circolare, come quella che si trova nei circhi equestri. È questa la spiegazione del movimento curvilineo dei pianeti data da Einstein (in cui la pista rappresenta lo spazio-tempo curvo).