

Il paradosso dei gemelli

La dilatazione del tempo dà origine ad un noto argomento relativistico, il cosiddetto paradosso dei gemelli.

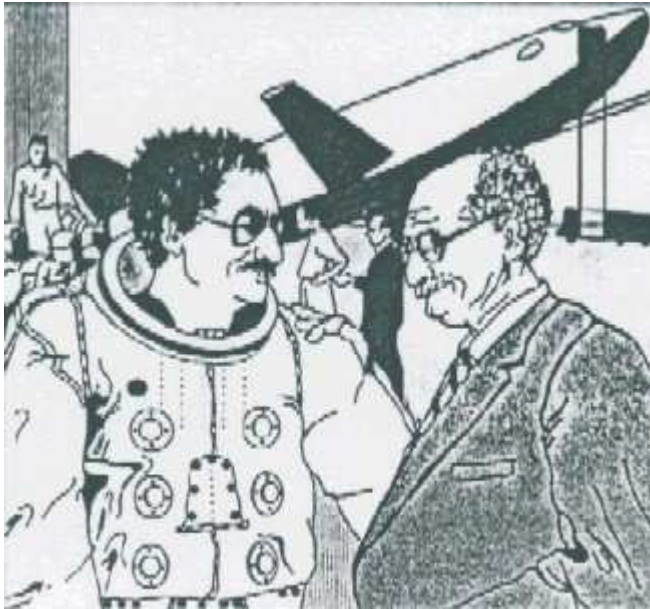
Il paradosso dei gemelli è forse una delle conseguenze più popolari della teoria della relatività di Einstein. In realtà non si tratta di un vero e proprio paradosso, bensì di un esperimento ideale volto ad illustrare come alcuni aspetti della teoria di Einstein siano contrari al senso comune, ma trovano ugualmente una spiegazione nell'ambito della teoria stessa.

Come sappiamo, secondo la teoria della relatività ristretta, per un osservatore inerziale (in quiete rispetto al proprio sistema di riferimento) un orologio in un altro sistema di riferimento, che sia in moto rispetto a lui, scandisce il tempo più lentamente di un orologio che si trovi nello stesso sistema

di riferimento. Ad esempio, se il fattore $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ fosse uguale a 4, un tempo proprio di 1 anno

corrisponderebbe a 4 anni nel sistema di riferimento dell'osservatore in moto. Dato che il nostro battito cardiaco e la nostra età sono misurati rispetto al tempo proprio sorge una domanda: una persona in un sistema di riferimento invecchia più rapidamente di una persona che si trovi in un sistema di riferimento in moto rispetto a quello della prima persona? Uno dei modi utilizzati per analizzare una situazione del genere è considerare l'ipotetico caso di due gemelli.

L'esperimento ideale è il seguente: sulla terra vi sono due gemelli, uno parte per un viaggio interstellare di andata e ritorno per una stella lontana, mentre l'altro rimane ad aspettarlo sulla terra. Assumendo che il viaggio interstellare possa essere compiuto a velocità prossime a quelle della luce, la teoria prevede che, al ritorno sulla terra, il gemello "viaggiatore" sia invecchiato molto meno di quello "terrestre". Agli occhi del gemello in viaggio, però, è la Terra che si sta



allontanando per cui gli orologi sulla Terra saranno più lenti e, dal suo punto di vista, è il gemello a Terra ad invecchiare meno. Non possono aver ragione entrambi. **L'aspetto che forse può sembrare paradossale nella storia dei due gemelli è l'apparente simmetria del sistema:** scegliendo l'astronave come sistema di riferimento è la terra che si allontana o si avvicina a velocità prossime a quelle della luce. Dunque perché alla fine del viaggio c'è una differenza tra i tempi misurati dai due gemelli? La soluzione è molto semplice: **i due sistemi di riferimento, la terra e l'astronave, NON sono equivalenti.** Il gemello viaggiatore, infatti, non si trova in un sistema di riferimento inerziale per tutta la durata del viaggio, l'astronave è infatti soggetta ad

un'accelerazione in partenza e all'arrivo e, in misura ancora maggiore, quando inverte la rotta per tornare sulla Terra. Il gemello sulla Terra invece non risente delle forze associate ai cambiamenti di velocità e di direzione che sperimenta il gemello in viaggio. **I due gemelli sono quindi distinguibili e le loro esperienze non sono simmetriche.** Ciò implica che la teoria della relatività ristretta (che non contempla le accelerazioni) non possa quindi essere applicata al gemello in viaggio.

In ogni caso, se si suppone che i periodi di accelerazione costituiscano solo una piccola parte del viaggio complessivo, la teoria della relatività ristretta può essere applicata per dare almeno un'indicazione di cosa accade: la conclusione è che il gemello in viaggio tornerà più giovane di

quello rimasto sulla Terra (tale risultato viene anche confermato dalla teoria della Relatività Generale che tiene invece conto delle accelerazioni)

Durante il percorso di andata e ritorno a velocità costante, che costituisce la gran parte del viaggio, entrambi i gemelli misurano la stessa velocità relativa, ma la **lunghezza propria è misurata dal gemello che si trova sulla Terra, in quanto egli è in quiete rispetto ai punti di partenza e di arrivo**. Ciò implica, per la relatività ristretta, che il gemello viaggiatore misuri una distanza inferiore, a causa del fenomeno della contrazione delle lunghezze. Pertanto, pur viaggiando alla stessa velocità relativa l'uno rispetto all'altro, dal suo punto di vista il gemello viaggiatore impiega meno tempo a coprire una distanza minore e dunque può trovare coerente il fatto che tornerà a casa più giovane. Dal punto di vista del gemello a Terra, il battito del gemello in viaggio è più lento, per cui è in accordo con il fatto che al rientro il fratello sia più giovane.

Notiamo che, nonostante l'apparente irrealizzabilità, il paradosso dei gemelli è stato verificato sperimentalmente! Questo grazie a degli orologi atomici collocati a bordo di due aerei che volavano in direzioni opposte rispetto al pianeta: l'aereo che viaggia in direzione est somma la sua velocità a quella di rotazione della terra, dunque viaggia più velocemente di quello che viaggia in direzione ovest, e quindi deve segnare un tempo inferiore di alcune frazioni di secondo. E così in effetti è stato. Un'altra verifica sperimentale fu invece eseguita nel 1966 in un acceleratore di particelle al CERN a Ginevra: in questo caso i viaggiatori erano muoni, fatti correre per mezzo di campi magnetici lungo percorsi circolari con velocità pari al 99,6% della velocità della luce. Si trovò che al loro ritorno i muoni erano più giovani, perché erano decaduti più lentamente dei muoni in quiete nel laboratorio.

