

RELATIVITA'

Quando si parla della Relatività le persone assumono quell’atteggiamento tra il penseroso e il perplesso; in effetti non è facile affrontare l'argomento, di certo non lo sarebbe se lo a livello matematico. Ci sarebbe da studiare per anni, ma, in questo corso, molto più modestamente, cercherò di rappresentare i concetti fondamentali della Relatività, non attraverso equazioni ma con degli esempi, che spero aiutino a dissolvere la nebbia che avvolge questa misteriosa teoria.

Tutto è relativo. Quante volte abbiamo sentito dire questa frase.

In effetti Einstein ha detto: Niente è assoluto, tutto è relativo

“Tutto è relativo. Prendiamo un ultracentenario che rompe uno specchio: sarà ben lieto di sapere che ha ancora sette anni di disgrazie...” (Einstein)

Come si è arrivati alla Relatività?

Una pillola di Metafisica.

Molti filosofi dell'antichità, tra cui Eraclito, Parmenide, Zenone, Democrito, Platone e Aristotele, si occuparono di questioni inerenti a quella che oggi viene chiamata fisica, parola che ha origine greca (tà physiká) e che significa "le cose della natura".

GALILEO SPINOZA NEWTON EINSTEIN



Dal Big Bang all’Homo Sapiens - UTE San Donato & San Giuliano Milanese - 2021/22 Lez. 5 a cura di Sandro Succi

Ma la fisica moderna comincia con l'assunto, dovuto a **Galileo Galilei**, che, "Non è possibile determinare se il sistema di riferimento in cui ci troviamo sia in stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Questo assunto definito nel 1609 è oggi chiamato **principio di relatività galileiano**, ed è tuttora valido.

Newton è noto soprattutto per la fondazione della meccanica classica, l'invenzione del calcolo infinitesimale, e, soprattutto, per la teoria della **gravitazione universale**.

Einstein riscrisse la fisica cambiando radicalmente il concetto di gravità descritto nella sua **teoria della relatività**.

E **Spinoza**? Cosa c'entra?

Ricordate il significato della parola greca (tà physiká) e che significa "le cose della natura".

Beh, proprio a questa idea della natura si richiama Spinoza

Il concetto di partenza da cui nasce la metafisica di Spinoza è quello di **sostanza** (la materia) la quale non deve la sua esistenza a nient'altro che a sé medesima.

Dalla definizione di Spinoza, la sostanza risulta quindi essere: increata, eterna, infinita, unica. La sostanza per il filosofo non può dunque essere che Dio. Ma la divinità spinoziana non deve essere pensata come l'entità ebraico-cristiana, bensì viene identificata con la Natura. Le cose del mondo non potranno essere altro che delle sue manifestazioni; a tal punto che Spinoza dirà: «Deus sive Natura» (Dio ovvero la Natura).

GALILEO E IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ

La formulazione galileiana originale segna l'ingresso nella fisica moderna del concetto di Relatività: "Non è possibile determinare se il sistema di riferimento in cui ci troviamo sia in stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Cosa voleva dire?

Il Principio di Relatività è verificabile nella vita di tutti i giorni; seduti nello scompartimento di un treno che sta partendo dalla stazione, con un altro treno a fianco, facciamo fatica a capire se ci stiamo muovendo noi o l'altro treno.

Galileo sosteneva che non riusciamo a renderci conto dei moti; per esempio, dei movimenti della Terra; non ci rendiamo conto che tutto sulla terra, viene trasportato insieme, perché siamo solidali, attaccati al suolo terrestre; per noi ogni evento che avvenga su una Terra in movimento o su una Terra ferma, sarebbe la stessa cosa..

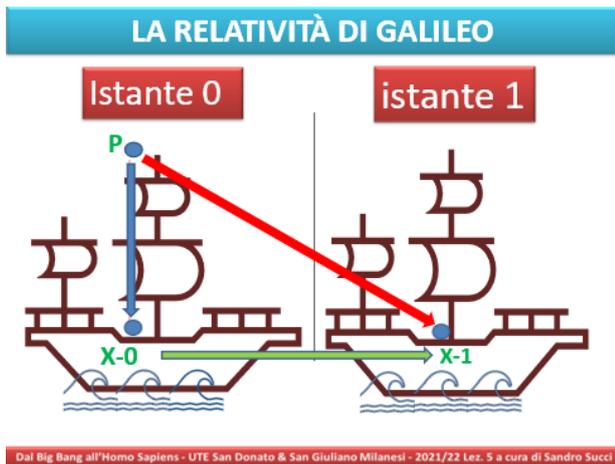
Infatti, noi non abbiamo la sensazione che in realtà stiamo viaggiando su una Terra che ruota su sé stessa ad una velocità di 1.100 km/h e che viaggia intorno al sole ad una velocità orbitale media di circa 107.000 km/h, pari a quasi 30 km/s.

E lasciamo stare gli altri due moti importanti, quello del sistema solare intorno al centro della nostra galassia la Via Lattea e della Via Lattea intorno al centro gravitazionale dell'ammasso di galassie locale della Vergine.

Eppure, in questo momento, pur viaggiando a tali velocità non ne percepiamo alcun effetto. Abbiamo la sensazione di essere fermi. Siamo, noi e la terra, un sistema inerziale.

Per dare una dimostrazione di questo Galileo ricorre all'esempio del grande naviglio (una nave che procede a velocità costante): se vi chiudete sottocoperta e osservate una goccia d'acqua che cade dall'alto in un fiasco dal collo ristretto, la goccia continuerà a cadere sempre all'interno del collo stretto del fiasco, come se la nave fosse ferma.

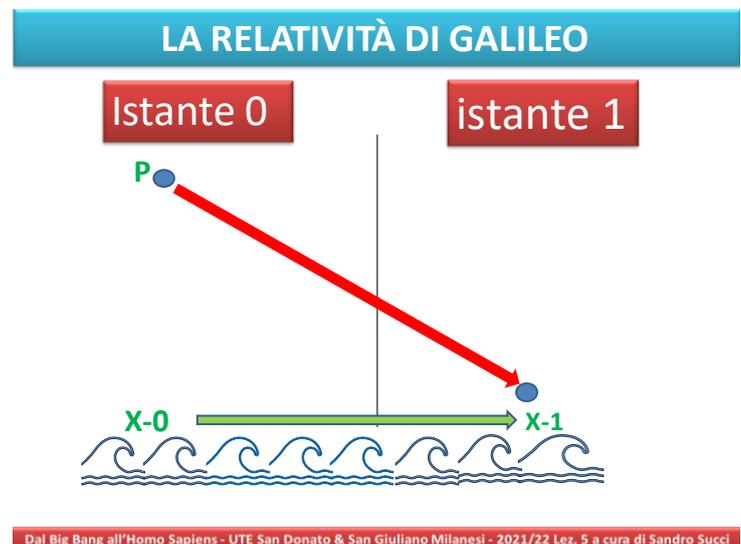
Per questo, se una persona compisse degli esperimenti meccanici all'interno di questa nave non potrebbe dire, in base a quegli esperimenti, se la nave è in moto o in quiete: per stabilirlo si deve prendere un altro punto di riferimento in rapporto al quale è possibile stabilire se la nave è in moto o in quiete. Per esempio guardando da un oblò.



Galileo descrisse questo esempio che ho provato a rappresentare:

se, dall'alto dell'albero maestro di un veliero, che proceda con velocità costante (con moto rettilineo uniforme, si dice in fisica) e scattiamo due istantanee (istante 0 e istante1) a 10 secondi di distanza l'uno dall'altra e lasciamo cadere una sfera di piombo P, mentre la nave continua a solcare il mare, per noi che siamo sulla nave stessa la sfera cadrà verticalmente e toccherà la nave (ipotizziamo dopo 10 secondi per facilità di ragionamento) ai piedi dell'albero maestro con traiettoria P X-0 e non spostata verso poppa.

Per cui noi che siamo sulla nave viviamo l'istante 0 e l'istante 1 come un unico sistema inerziale, noi sulla nave, la nave, la sfera di piombo.



Ma un osservatore esterno, da un altro vascello, vedrebbe la palla di piombo procedere in diagonale. perché la sfera oltre a cadere verticalmente sarà trascinata dal moto orizzontale del vascello.

Il significato immediato della Relatività Galileiana è:

Non è possibile determinare se il sistema di riferimento in cui ci troviamo è in quiete, (cioè sta fermo), o in moto rettilineo uniforme (cioè viaggia sempre nella stessa direzione a velocità costante).

È il primo esempio storico esplicito del **Principio di Relatività**.

Cioè, la visione di un evento dipende dal punto di osservazione.

La Relatività Galileiana è rimasta in ottimo accordo con i dati osservativi, sino alla fine dell'Ottocento, e continua a essere quella usata ancora oggi per trattare i fenomeni che si svolgono con velocità molto inferiori a quella della luce cioè a quelle velocità collegate alla nostra vita di tutti i giorni. Camminare, andare in automobile, prendere un treno o un aereo...vale ancora Galileo

Invece a velocità prossime alla velocità della luce dette *velocità relativistiche*, essa si rivela invalida e occorre usare la Relatività Einsteiniana.

La Teoria della Relatività di Albert Einstein è una riformulazione ed estensione delle leggi della fisica di Galileo e di Newton, in funzione della scoperta di Faraday e Maxwell relative al mondo delle onde elettromagnetiche, e, per descrivere eventi che avvengono ad alte energie e a velocità prossime a quella della luce. (tipo le condizioni iniziali della singolarità e del Big Bang)

In realtà, Quando si parla di Teoria della Relatività, in genere, si mettono insieme due diversi scritti di Einstein, uno del 1905 (la Relatività Ristretta) e uno del 1915 (la Relatività Generale).

Come si possono distinguere?

È semplice: la Relatività Generale si occupa dei corpi e dei moti in presenza della gravità, quella Ristretta no. Perciò, tutti i fenomeni che coinvolgono l’attrazione gravitazionale, come per esempio i buchi neri, o le singolarità riguardano la Relatività Generale.

LA TEORIA DELLA RELATIVITÀ RISTRETTA.

Noi Tutti sappiamo che i sensi possono ingannarci. Quando siamo in auto e percorriamo una lunga strada dritta, abbiamo l’impressione che in lontananza essa si restringa, ma non ci sogniamo affatto di confondere questa sensazione con la realtà. La realtà è, che al di là delle apparenze, la strada rimane larga come nel punto in cui stiamo guidando.

Ecco, la Relatività fa la stessa operazione: scarta tutto ciò che dipende dai singoli punti di vista, e conserva ciò che resta reale in qualunque condizione.

La Teoria della Relatività Ristretta si basa su due postulati o principi.

Il primo postulato della Relatività Ristretta.

Nel primo postulato Einstein afferma che le leggi della natura sono uguali in qualsiasi sistema di riferimento inerziale. Cos’è un sistema inerziale? È un sistema che si trova in stato di quiete, (è fermo), oppure si muove in un moto rettilineo uniforme senza accelerazioni o decelerazioni.

Noi, nel momento in cui siamo fermi, seduti, oppure se stessimo camminando a velocità costante, diventiamo un sistema di riferimento inerziale. In entrambi i casi valgono le stesse leggi della natura per gli eventi che stanno accadendo.

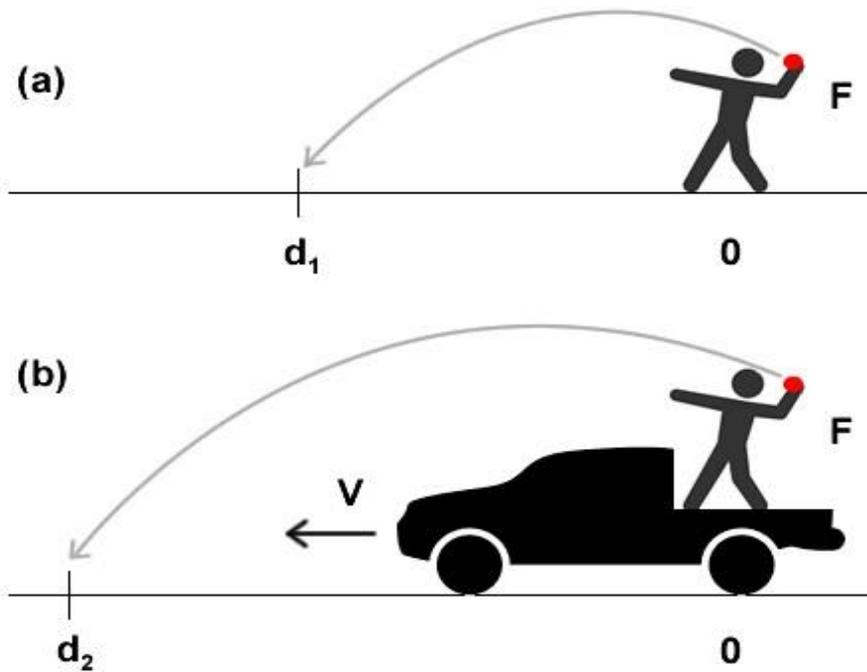
Esempio, sono su un treno fermo e mi cade la penna, ovviamente cade verticalmente, sui miei piedi, esattamente in un punto x. Dopo la partenza, mentre il treno procede a velocità costante abbasso la tendina del finestrino e mi appisolo. dopo un po’ mi cade nuovamente la penna, verticalmente, e indovinate, cade sui miei piedi nello stesso punto x, pur essendo il treno in movimento; svegliandomi, la caduta della penna in sé stessa non mi fa capire se il treno fosse in movimento o fermo. Perché? Perché in questo caso io la penna il treno, dal punto di vista della fisica, siamo un solo sistema di riferimento inerziale e quindi non possiamo determinare se l’evento (caduta della penna) sia avvenuta mentre eravamo fermi o con il treno in movimento. Insomma, più o meno siamo alla relatività descritta da Galileo. L’unica differenza sta nella presenza dell’etere come entità di trasporto della luce confutata da due altri grandi della fisica, Michelson e Morley.

Ecco Einstein mise insieme i due lavori e pubblicò la Relatività Ristretta

Il secondo postulato della Relatività Ristretta

Nel secondo postulato, molto più importante, Einstein afferma che la velocità della luce è una costante, indipendente dalla velocità della sorgente che la sta emettendo. La luce si propaga nel vuoto a una velocità pari a **299.792,458 km/s**.

MECCANICA CLASSICA



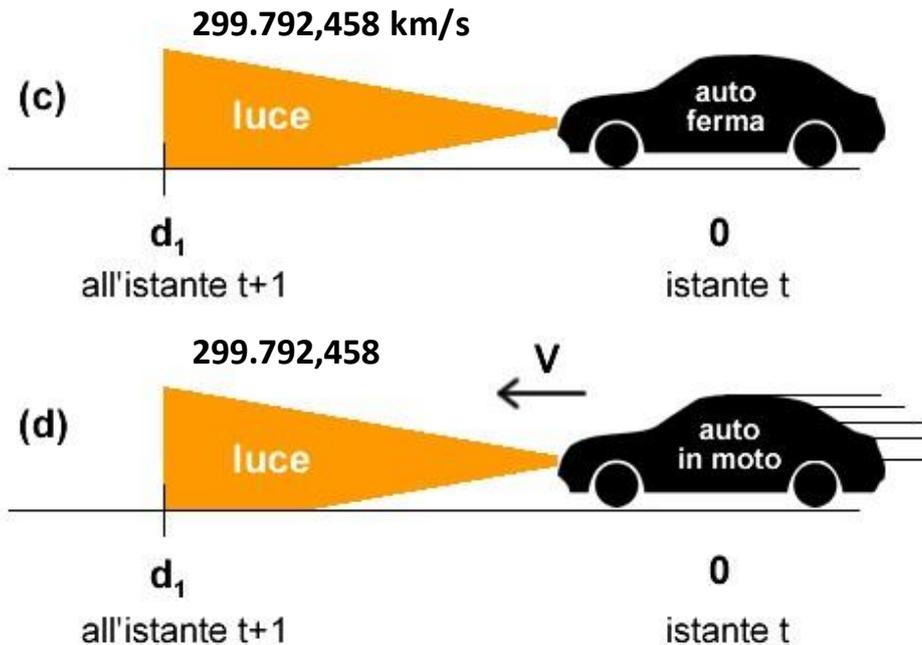
Dal Big Bang all’Homo Sapiens - UTE San Donato & San Giuliano Milanesi - 2021/22 Lez. 5 a cura di Sandro Succi

Il modo migliore per spiegare il secondo postulato è di partire con un esempio pratico. Secondo la meccanica classica di Galileo e Newton, se si lancia una palla da fermi con una forza F questa cade a una particolare distanza d_1 dal lanciatore (fig. A).

Quando la palla viene lanciata dallo stesso punto (zero) e con la stessa forza dal lanciatore da un’automobile in movimento, la palla cade più lontano, fino a d_2 , perché alla forza F del lancio si aggiunge ulteriore forza provocata dalla spinta della velocità V del veicolo (fig. B).

Questa legge vale per tutti i corpi ma non funziona con la luce

SECONDO POSTULATO RELATIVITA' RISTRETTA



Dal Big Bang all’Homo Sapiens - UTE San Donato & San Giuliano Milanese - 2021/22 Lez. 5 a cura di Sandro Succi

Esempio. Se si accendono i fari di un veicolo fermo e di un veicolo in movimento a 100km/h, la luce viaggia in entrambi i casi alla stessa velocità.

In teoria, come nell’esempio del lancio della palla, la luce emessa dai fari del veicolo in movimento dovrebbe spostarsi più velocemente, dovrebbe sommare la propria velocità (299.792,458 km/s) a quella dell'automobile (100 km all'ora), ma così non è. In entrambi i casi la luce viaggia alla stessa velocità, 299.792,458 km/s. Proviamo con un'ipotesi ancora più azzardata: se un'auto (una Fiat Panda, per rendere l'esempio oltremodo verosimile), viaggiasse alla velocità della luce verso un corpo nello spazio, che cosa succederebbe se accendesse i fari? Anche in questo caso, nulla: la luce dei fari viaggerebbe alla stessa velocità della Panda, quindi la luce dei fari (che non si muoverebbe di un micron dalle sue lampadine perché vanno alla stessa velocità) colpirebbe l'ostacolo contemporaneamente ai fari.

La velocità della luce è l'unica costante dell'universo, che Einstein chiamò c quella che si trova nella famosa formula ($E=mc^2$)

Questo postulato consente a Einstein di introdurre un'eccezione alla meccanica classica di Galileo e Newton per quanto riguarda la luce.

In questo modo lo scienziato unisce le leggi di Galileo, di Newton alle nuove leggi elettromagnetiche di Maxwell, in un'unica teoria fisica.

SISTEMI DI RIFERIMENTO



Abbiamo già visto che le misurazioni di spazio e di tempo e di moto, sono relative al punto di vista di un osservatore, che nella Relatività viene chiamato “sistema di riferimento”.

Dal Big Bang all’Homo Sapiens - UTE San Donato & San Giuliano Milanesi - 2021/22 Lez. 5 a cura di Sandro Succi

Per spiegare in parole povere cosa si intende per sistema di riferimento può essere utile ritornare su un treno:

Supponiamo che uno di voi (che chiameremo “osservatore”) stia seduto sulla panchina di una stazione ferroviaria. Per l’osservatore che se ne sta seduto, la panchina, in quel momento, è il suo sistema di riferimento, cioè l’osservatore vede tutto quello che accade, da quel suo momentaneo punto di vista.

Dopo un po’ arriva un treno.

Questo treno proveniente da Milano attraversa la stazione in direzione di Roma a 50 Km/h.

Ovviamente l’“osservatore” seduto sul sistema di riferimento panchina lo vede passare esattamente a 50 km all’ora.

Mentre il treno passa, l’“osservatore”, dal sistema di riferimento panchina, vede all’interno del treno un bambino con la maglietta verde che sta fermo, seduto al suo posto; per voi “osservatore” seduto sul sistema di riferimento panchina, anche il bambino vi passa davanti con la stessa velocità del treno cioè a 50 km/h.

Quindi se il sistema di osservazione, ovvero il sistema di riferimento siete voi “osservatore seduto sulla panchina”, potete dire senza ombra di dubbio, che sia il treno che il bambino con la maglietta verde stanno passando di fronte a voi a 50 km all’ora in direzione di Roma.

È reale no? Sta avvenendo! Ma questa è la vostra realtà.

Ma vediamo, invece, se l’“osservatore” fosse il sistema di riferimento treno. Allora il bambino seduto e solidale con il treno, guardando dal finestrino vedrebbe passare voi seduto su una panchina, alla velocità di 50 km all’ora in direzione di Milano.

Quindi, dal punto di vista del sistema di riferimento treno, il treno sta fermo mentre siete “il voi” seduto in panchina che si sta muovendo a 50 km/h in direzione di Milano. Ovviamente chi sta in treno sa benissimo, per esperienza personale, che non è il mondo attorno che si sta muovendo, è solo un’impressione. È il treno che si sta muovendo. Ma mettiamoci nei panni di un bambino che viaggia in treno per la prima volta e che non ha ancora sviluppato la conoscenza dei moti, guardando dal finestrino, lui, avrebbe veramente la sensazione di essere fermo mentre gli alberi sul ciglio della strada ferrata se ne stanno scappando velocemente. Questa è la sua realtà.

Ricapitolando possiamo affermare che il nostro punto di vista dalla panchina e il punto di vista dal treno siano entrambi dei Sistemi di Riferimento e che entrambe le realtà siano reali e sono realtà relative al punto di osservazione o Sistema di riferimento.

Ora attenzione. Il signore con la maglietta rossa si alza e si dirige verso la carrozza ristorante camminando ad una velocità di 5 km/h (quindi in direzione contraria a quella del treno). Cosa percepisce il bambino con la maglietta verde? Essendo il bambino, come anche il signore con la maglietta rossa, entrambi all’interno del “sistema di riferimento treno”, il bambino vedrebbe il signore muoversi verso Milano a 5 Km/h, mentre voi “osservatore” che siete seduto sulla panchina lo vedreste muoversi verso Roma ma ad una velocità di 45 Km/h.

Sì, perché nel “sistema di riferimento treno” tutto quello che si osserva dal treno si muove ad una certa velocità ed il bambino può definirsi fermo. Mentre per il sistema di riferimento “uno di voi seduto sulla panchina” siete voi fermi, mentre il treno (e quindi anche il bambino) è in movimento verso Roma.

Su queste fondamenta si basa la fisica relativistica. I sistemi di riferimento sono capisaldi per dare l’interpretazione agli eventi e alle relazioni tra gli stessi.



IL TEMPO

Il senso comune ci dice che se una campana rintocca a New York e dopo un attimo un'altra campana rintocca a Milano, l'ordine dei due eventi è indiscutibile. La Teoria della Relatività afferma invece che la velocità dell'osservatore influenza anche la percezione del prima e del dopo, e dunque che lo scorrere del tempo non è assoluto, universale.

Come ha fatto Einstein ad arrivare a una simile conclusione? Lo scienziato tedesco è partito dal fatto, ben noto anche ai suoi tempi, che la luce si propaga con velocità molto elevata ma non infinita, esattamente 299.792 chilometri al secondo.

Le velocità che noi sperimentiamo però, dipendono dalla nostra vita quotidiana: per esempio, sull'autostrada, un'automobile che ci sorpassa, a volte sembra lenta in modo esasperante, mentre nella carreggiata opposta anche un vecchio macchinino ci sembrerà velocissimo. Se questo valesse anche per la velocità della luce, i raggi emessi da una stella dovrebbero sembrarci più veloci o più lenti a seconda che la Terra, girando intorno al Sole, si avvicini o si allontani dalla stella. Invece ciò non accade, la velocità della luce non varia.

Insomma, Einstein capì un concetto fondamentale, che la velocità della luce è una costante universale, cioè ha sempre lo stesso valore, non cambia mai. I fotoni viaggiano sempre a 299.792 km/s anche se li spingi con un razzo.

Proprio per questa proprietà della luce Einstein fece crollare il concetto di simultaneità. E del tempo.

Effetti della relatività nel tempo sulla simultaneità degli eventi

La relatività del tempo ha una strana conseguenza:

due eventi che appaiono simultanei in un sistema di riferimento non appaiono necessariamente simultanei in un altro sistema di riferimento inerziale, vale a dire in un altro sistema in moto rettilineo uniforme rispetto al primo. Immaginiamo di vedere un treno che viaggia con una certa velocità e di considerare due diversi osservatori uno seduto sul treno e l'altro fermo sulla banchina. Improvvisamente due fulmini colpiscono la testa e la coda del treno. L'osservatore sulla banchina si trova esattamente nel punto medio della distanza tra i due fulmini. Se i due lampi di luce giungono agli occhi dell'osservatore nello stesso momento, allora egli dirà che i due fulmini si sono abbattuti sul treno simultaneamente. Diciamo dunque che due eventi sono simultanei se la luce che proviene da essi impiega lo stesso tempo a raggiungere il punto medio tra le posizioni in cui sono accaduti i due eventi. Dunque, abbiamo detto che l'osservatore sulla banchina giudicherà la caduta dei due fulmini simultanee, ma cosa vedrà invece il passeggero del treno. Dato che il treno si sta muovendo il passeggero va incontro al raggio di luce proveniente dalla testa del treno mentre scappa via da quello proveniente dalla coda. Il passeggero del treno, dunque, vedrà prima il fulmine caduto sulla testa del treno e in un istante di tempo successivo quello caduto sulla coda del treno. Se il treno fosse rimasto fermo, allora, anche il passeggero, come l'osservatore sulla banchina, avrebbe giudicato i due fulmini simultanei, ma poiché il treno si muove rispetto alla banchina, ecco che la simultaneità diventa relativa e dipende dall'osservatore e dallo stato di moto del sistema di riferimento in cui si prova

LA RELATIVITÀ GENERALE 1915.



La teoria si può facilmente esprimere in parole: la gravità altera lo spazio-tempo. Ovvero, una concentrazione di materia piega lo spazio (e il tempo), come una boccia da bowling piegherebbe un tappeto elastico. Le conseguenze più ovvie? Quando lo spazio è deformato dalla presenza di un corpo massiccio, i raggi di luce seguono la deformazione e descrivono una curva. Il tempo, dal canto suo, in vicinanza di grandi masse scorre più lentamente

Ecco un esempio. Se un astronauta sulla Luna guardasse nella cabina di un razzo di passaggio, vedrebbe i suoi colleghi a bordo del razzo muoversi al rallentatore, e l’astronave “accorciarsi” lungo la direzione del moto.

Ma anche gli astronauti in transito vedrebbero il collega sulla Luna muoversi al rallentatore. Come mai? Se da un lato il tempo rallenta, dall’altro non dovrebbe accelerare?

Niente affatto. Per capirlo immaginate che i tempi siano rappresentati da due uomini lontani cento metri: il primo vede l’altro rimpicciolito dalla distanza, ma non per questo il secondo vede il primo ingrandito. La Teoria della Relatività introduce quindi il concetto di una realtà del tempo in relazione alla velocità.