

Che tu sia un aspirante filosofo, fedele nemico della matematica, o un amante dei numeri e della fisica, o un amante dei Sumeri e della fi(s)ca, ti dimostrerò che la relatività potrebbe esserti d'aiuto.

Per esempio, immagina di esser a un appuntamento con qualcun*, e che non stia andando particolarmente bene, tipo che è tutta la sera che cerchi di far ridere e ottieni solo silenzio.

A questo punto hai due possibilità: o l* fai ridere con un banale "So Lillo", oppure l* stupisci, prendi un tovagliolo, una penna e con voce sensuale pronunci queste parole

"Ora ti dimostro che $E=mc^2$ ". Così. De botto. Senza senso. Funziona fidati.

EINSTEIN's PLAYBOOK

Ebbene sì, ti sto dicendo che puoi studiare fisica a partire da qualche frase per rimorchiare, o imparare a rimorchiare a partire dalla fisica, e forse chissà, riuscire in entrambi gli intenti.

L'unica base da cui dobbiamo partire sono le equazioni di Maxwell, da cui risultati è possibile ricavare **un'onda elettromagnetica cui velocità è $c=3 \times 10^8$ m/s**, ovvero la velocità della luce.

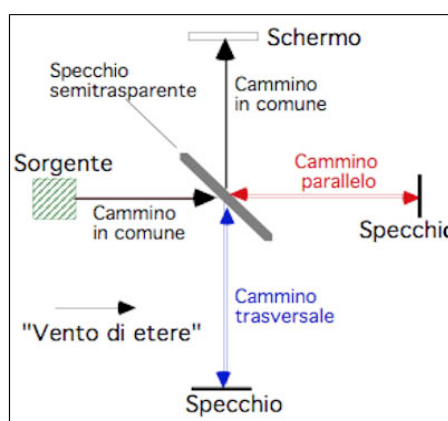
(se volete ripassare l'induzione elettromagnetica aprite il pdf del Presidente alias Matteo Cuccureddu)

"I tuoi difetti sono come l'etere"

Non esistono.

La c trovata anche da Maxwell, si pensava fosse una velocità dipendente dal riferimento, e che dunque valesse solo nel mezzo nel quale al tempo si credeva si propagasse la luce: l'etere.

Con l'esperimento di **Michelson e Morley**, i quali volevano misurare il vento d'etere, dunque la differenza di velocità della luce, grazie a un interferometro (in figura), si osservò che questa era nulla, dunque, o essa violava le trasformazioni di Galileo, o **l'etere non esisteva**. La risposta era la seconda, tuttavia dalla prima ipotesi nacquero le trasformazioni di Lorentz, utilizzate poi nella relatività.



RELATIVITÀ RISTRETTA

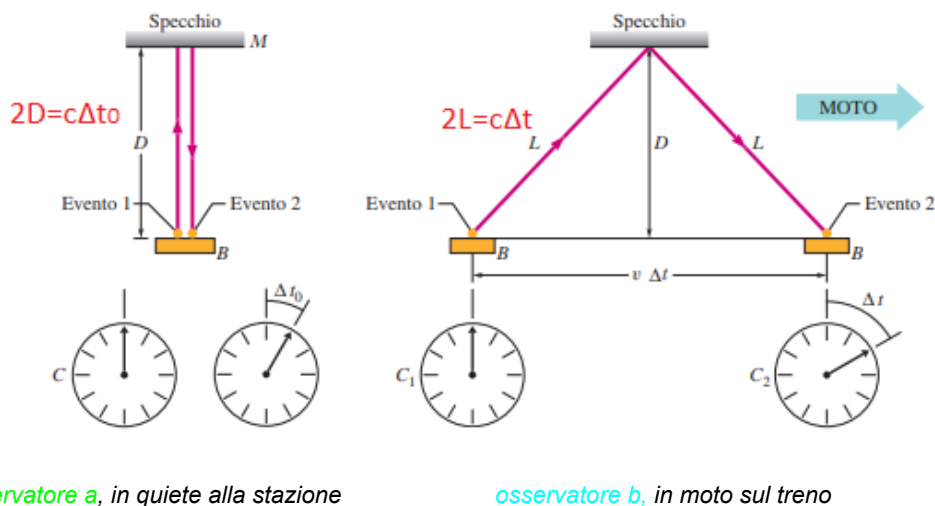
"Sei la mia velocità della luce"

Ovvero "sei la costante della mia vita", e scopriremo tra poco che un paragone migliore non esiste.

A partire da questi risultati, un giovane Einstein pensava che, eliminato l'etere, il mezzo di propagazione della **luce** non poteva che essere il vuoto, e pose quindi come **postulato** la sua **invarianza nel vuoto**. Di conseguenza le leggi fisiche sono ora uguali per tutto l'universo. Posta c come costante indipendente dal riferimento, propose l'esperimento mentale del treno.

Immaginiamo un treno in moto sul quale è posto un osservatore (**a**), e un altro osservatore (**b**) che è invece in quiete alla stazione. Nel momento in cui ci siano due eventi, come l'esplosione di due petardi in due punti differenti del binario (solidale all'osservatore **a**), egli percepirà l'esplosione dei due petardi (eventi 1 e 2), a distanza di 1 millisecondo uno dall'altro, quindi ai nostri occhi simultaneamente. Dal punto di vista dell'osservatore **b** invece, poichè egli è solidale al sistema del treno, che si sta muovendo, i due eventi, percepiti in momenti diversi a causa del moto del treno, non sono simultanei. Se per l'osservatore **a**, i due eventi (l'esplosione dei due petardi) sono dunque simultanei, per l'osservatore **b** le cose non stanno così.

Allo stesso modo si può immaginare un orologio di luce tenuto dall'osservatore **a** in stazione (in figura). Per lui l'emissione di un raggio di luce (evento 1) e il suo riflesso (evento 2) saranno percepiti a distanza di 1 millisecondo; mentre per l'osservatore **b**, poichè solidale al moto del treno, il riflesso nell'orologio di luce in stazione (evento 2) sarà percepito dopo più tempo rispetto all'osservatore **a**.



osservatore **a**, in quiete alla stazione

osservatore **b**, in moto sul treno

La simultaneità è quindi relativa, così come il tempo, che non può più essere considerato come assoluto (spodestato Newton insomma).

“Se fossi tu a corrermi dietro vivresti più a lungo”

Volendo ricavare di quanto il tempo è differente nei due sistemi di riferimento, scopriremmo una **dilatazione temporale** (rallentamento) per il sistema ritenuto in moto. Utilizzando i dati dello stesso orologio di luce posto alla stazione (oss.a), visto dall'osservatore **a**, solidale e in quiete, e poi dall'osservatore **b**, sul treno in moto, e applicando il teorema di Pitagora a quest'ultimo, ricaviamo anche di quanto il tempo è differente nei due sistemi di riferimento.

$$L^2 = \frac{v\Delta t}{2}^2 + D^2$$

Otteniamo che $\Delta t = \Delta t_0 \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

Questo fattore $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ è chiamato γ

“Sei speciale come il paradosso dei gemelli”

Ponendo al posto dell'osservatore a terra, Albert sulla Terra e al posto del treno in moto Mark, in moto verso lo spazio a velocità prossima a c . I due sono gemelli.

Attenzione! Diciamo *velocità prossima a c* solo perchè è a queste alte velocità che è possibile rilevare sperimentalmente gli effetti della **relatività ristretta**, ma essa **vale sempre**

Ora, la domanda è: al ritorno di Mark sulla Terra, chi sarà più giovane?

Il problema può essere posto con Albert sulla Terra come sistema in quiete, che vede allontanarsi in moto rettilineo uniforme Mark, e in tal caso sapremo che per Mark, secondo Albert, il tempo è rallentato, quindi al ritorno *Mark sarebbe più giovane*.

Oppure possiamo considerare Mark in quiete nello spazio, che vede la Terra con Albert allontanarsi da lui alla stessa velocità. In questo caso per Mark, il tempo di Albert sarebbe rallentato e *sarebbe Albert il più giovane*.

Nient'altro che il vecchio problema della relatività galileiana, che classifica la teoria di Einstein come relativa.

Attenzione! La dilatazione temporale o la contrazione spaziale sono fenomeni percepiti solo in riferimento a un altro sistema in quiete, dunque Mark, se non comunicasse con Albert, tornato sulla Terra, non saprebbe mai che il suo tempo si è dilatato, e viceversa. Entrambi stanno solo seguendo il proprio tempo relativo. → **relatività**

Attenzione! Questo paradosso non è esattamente corretto, data l'impossibilità che i gemelli si muovano di moto rettilineo uniforme (non vanno da 0 a 100 all'istante). Questa teoria infatti prevedeva come secondo **postulato** che i **sistemi siano inerziali** (senza accelerazioni)→ **ristretta o speciale**

Un problema comune: “I jeans mi vanno stretti e devo uscire a breve”

Allo stesso modo dei gemelli, presi i tuoi jeans preferiti come sistema in moto a velocità prossima a c , verso di te che sei in quiete, agli occhi dei jeans apparirai più magro*. E dajè sei pronto* per uscire.

MA considerando i jeans come sistema in quiete, e tu come sistema in moto a velocità prossima a c , saranno i jeans che ti appariranno ristretti, dunque niente da fare, ti conviene cambiare outfit o ritornare in palestra.

DINAMICA RELATIVISTICA

“Può l'inerzia di un corpo dipendere dal suo contenuto di energia?”

Nonostante sia la formula più famosa del mondo, $E=mc^2$ non era presente nell'articolo contenente la teoria della relatività ristretta (“Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento”), ma Einstein si accorse solo in seguito, applicando il teorema dell'energia cinetica alla massa relativistica, di questa conseguenza.

Per una dimostrazione della formula suddetta, che ti farà conquistare chiunque, suggerisco il [pdf del professor Biolcati](#).

Dunque sì, $E=mc^2$, ma che significa?

“Ti amo 300000 000”

E più di così non si può. E non si può davvero, 300mila m/s, ovvero c , è ora una velocità **limite**, nonché **costante di natura**. Infatti, secondo la nuova definizione di inerzia, per ottenere una velocità pari a c la massa inerziale sarebbe infinita, necessiteremmo dunque di energia infinita per spostare un tale corpo, il che non ha senso.

$$\text{Massa relativistica} = m_{\gamma} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \lim_{v \rightarrow c} m_{\gamma} = \frac{m_0}{0} = \infty$$

“Tesoro, non sei ingrassat*, sei solo pien* di energia”

La soluzione al dilemma “Digli che è ingrassato senza dirgli che è ingrassato”.

La formula di Einstein ci dice che ogni corpo ha un’energia a riposo, per il solo fatto di avere una massa, e che a una variazione di massa corrisponde una variazione di energia; dunque possiamo ottenere energia in due nuovi modi (“trasformando la massa in energia e viceversa):

-“diminuendo” la quantità di massa → aumenta l’energia → legge di conservazione energia violata? No, è compensata dalla variazione di massa → **Fissione nucleare**

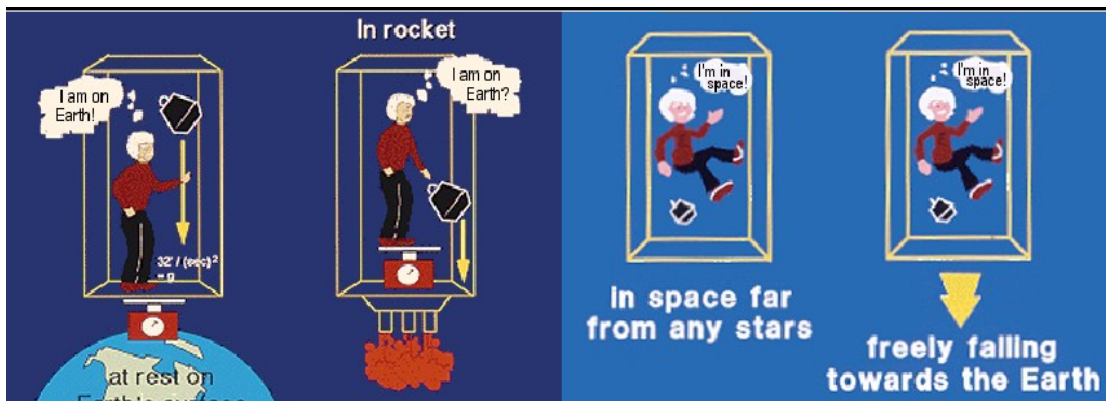
-“aumentando” la quantità di massa → legge di conservazione di Lavoisier violata? → no, viene liberata energia → **Fusione nucleare**

RELATIVITÀ GENERALE

“Se cado dal cielo mi prendi e mi riporti in cima, come se non ci fosse gravità”

È a partire da un’intuizione geniale, che Einstein sviluppò la teoria della relatività **generale**, ovvero che valesse anche per sistemi **non inerziali**. Il problema sorse dalla domanda *Perché massa gravitazionale e massa inerziale appaiono equivalenti?*.

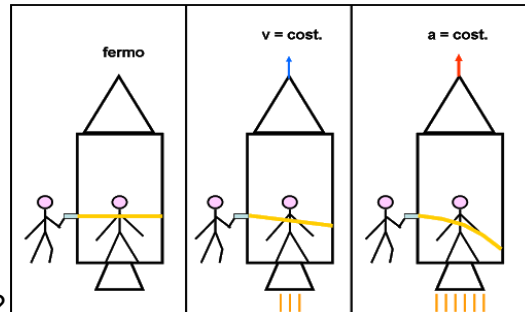
L’evidenza sperimentale è trattata da Einstein con l’esperimento mentale dell’ascensore.



Pensando di essere su un ascensore che sta scendendo (in figura *freely falling...*), subiremmo una forza apparente verso l’alto che ci fa sentire quasi “sollevati da terra”, e allo stesso modo avvertiremmo l’apparente assenza di gravità su una navicella nello spazio ([Ecco come spiegare scientificamente la vostra frase romantica rubata a Frah Quintale](#)). Quando invece l’ascensore o la navicella accelera verso l’alto (*in a rocket*), noi ci sentiamo “schiacciati” al pavimento, subendo una forza apparente verso il basso. Questo non è che lo stesso fenomeno che percepiamo con la forza di gravità, che ci tiene “schiacciati” a terra. Sarebbe quindi possibile, in un ambiente chiuso e limitato, stabilire se ci troviamo sulla Terra

o su un'astronave/ascensore che accelera in modo costante? La risposta è no ed è il cardine della teoria generale: **il principio di equivalenza tra massa inerziale e massa gravitazionale.**

Nuovo problema: la luce non ha massa, ma ha energia (=massa), e dovrebbe dunque subire gli effetti gravitazionali (vedi figura).

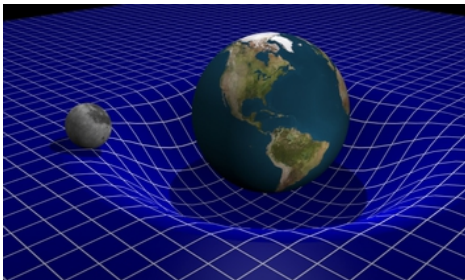


Ma la luce può curvare?

“Che geodetiche cortissime!”

= Hai delle curve bellissime

Tienilo a mente quando vorrai dire a qualcun* che ha un bel culo senza essere volgare. Per giustificare la risposta affermativa alla domanda, Einstein eliminò il concetto di forza gravitazionale come causa e lo sostituì con il concetto di deformazione dello spaziotempo. Immaginando lo spaziotempo come un telo elastico (erroneamente perchè dovremmo immaginare 4 dimensioni), osserviamo che alla presenza di una grossa sfera, quindi una grossa massa, esso subirà una deformazione, una **curvatura**, e tutti gli oggetti attorno subiranno un'attrazione verso tale sfera, dovuta alla modifica del telo(=spaziotempo), che è più curvo, più esso è vicino alla grossa massa. La luce quindi può percorrere solo linee curve, e poichè percorre sempre la distanza più breve, essa sarà rappresentata dalla linea più curva, ovvero una **geodetica**.



Fu così necessaria una geometria curva, non euclidea, già scoperta da alcuni matematici tra cui Riemann, la cui **geometria ellittica** divenne strumento essenziale della relatività generale.

“Quando mi stai vicino il tempo sembra fermarsi”

La nuova geometria dello spaziotempo curvo, ha importanti conseguenze. Schematicamente possiamo affermare infatti che un corpo

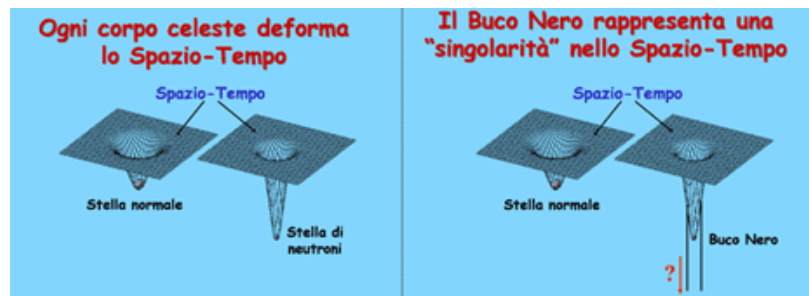
Più è lontano dalla massa → meno “subisce” gravità → (gravità=curvatura spazio tempo) → spazio meno incurvato → linee geodetiche più lunghe e gravità minore(=accelerazione minore) → percorso meno veloce → più lento mi muovo più il tempo va veloce (si contrae)→ invecchia prima

Se volessimo rispondere quindi al paradosso dei gemelli, lasciato irrisolto dalla teoria ristretta, potremmo affermare che il **gemello partito nello spazio tornerebbe più vecchio**. Analogamente il **tempo rallenta se sei più vicino a** una massa, come **il tuo amore**.

“Sei un buco nero per caso?”

“Mi attrai tanto che non ne esco più.”

Un corpo con una densità elevatissima, può provocare un campo gravitazionale talmente intenso, dunque una curvatura quasi infinita, che nulla può sfuggirgli, nemmeno la luce (la sua velocità di fuga è superiore a c). Questo corpo è definito buco nero e può prodursi nello stadio finale della vita di una stella di massa superiore a 3 masse solari, quando collassa su se stessa. La sua esistenza è verificabile solo grazie all’osservazione delle interazioni gravitazionali.



“Io e te siamo come Andromeda e la Terra”

L’Universo ci dice letteralmente di allontanarci, ma l’attrazione tra noi due è più forte anche di esso.”

L’equazione dei campi di Einstein prevedeva un universo in espansione, ma la sua fede in un universo statico, lo portò a compiere l’errore più grande della sua vita, introducendo la costante cosmologica. Eppure anche qui il genio aveva ragione e l’abbiamo osservato grazie alla scoperta di Hubble di un **effetto Doppler**. Come per l’effetto sonoro, più la sorgente si sta allontanando rapidamente, più la frequenza percepita è bassa. Osservando quindi le galassie si è notato uno **spostamento verso il rosso**, la frequenza più bassa di luce visibile, che ha confermato che esse si stanno allontanando da noi, non a causa di un moto proprio, ma per uno “stiramento” dello spazio e della distanza, che si espande e aumenta come la distanza tra due puntini di un palloncino che si sta gonfiando.

Un’osservazione particolare è che la galassia Andromeda si sta avvicinando a noi, poichè, a causa della sua vicinanza alla Terra (2,5 milioni di anni luce), gli effetti gravitazionali sono più intensi dell’espansione dell’Universo, e si osserva uno **spostamento verso il blu**. La previsione è che dunque Andromeda e Via Lattea si attrarranno tanto da collidere e fondersi in una supergalassia. *Ci fondiamo in una supergalassia come Andromeda e la Via Lattea?*

PARADOSSI SUPPLETIVI

“Ti farò impazzire”

Ed è impossibile non riuscirci se proporrai questi quesiti

-Lo specchio

Cosa succederebbe se mi muovessi a velocità prossima a c verso uno specchio?

-La morte nera

Partendo dal paradosso dei gemelli, immaginiamo che ad allontanarsi dalla Terra non sia il gemello Mark, ma egli sia posto su una stazione tipo la Morte Nera, di massa e dimensione identiche alla Terra. In questo caso la soluzione trovata dalla relatività generale non sarebbe soddisfacente, essendoci riavvicinati al concetto di paradosso relativistico. Dunque cosa succederebbe ai due gemelli in questo caso?