

La tecnologia offre oggi nuovi strumenti per affrontare l'insegnamento ai giovani di materie con un contenuto molto astratto o difficili da veicolare in modo comprensibile.

Ho avuto modo di constatare negli anni come un'immagine o, meglio ancora, un filmato o un'animazione che accompagna la spiegazione aiuti in modo significativo i ragazzi sia a concentrarsi che a cercare di capire i concetti esposti.

In questo webinar cercherò, nel breve tempo a mia disposizione, di illustrare qualche esempio di concetto complesso illustrato tramite animazioni ma anche di indicare la tecnica costruttiva di un supporto multimediale adatto ad essere proiettato e commentato in classe (come quelli presentati qui).

Ci sono però ostacoli (non piccoli) da affrontare per seguire questo percorso:

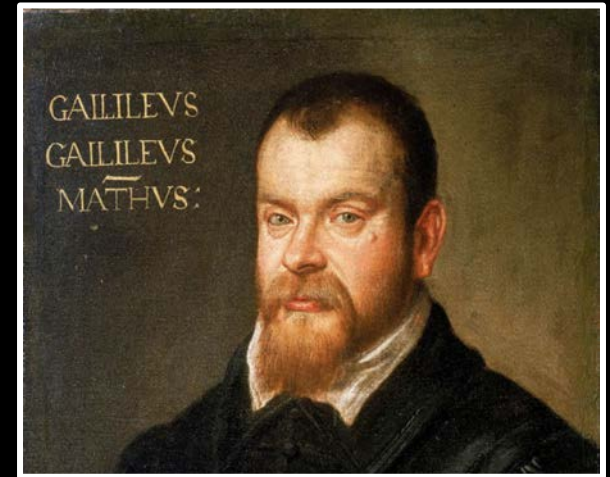
- Il costo dei software necessari (spesso assolutamente non trascurabili)
- La complessità di questi strumenti (davvero difficili da affrontare all'inizio)
- Il tempo necessario a confezionare il materiale (dell'ordine di svariate ore anche solo per una slide)

# Come scriveva Galileo Galilei nel Saggiatore (1623)

*La filosofia naturale è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi, io dico l'universo, ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri nei quali è scritto.*

*Egli è scritto in lingua **matematica**, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche,*

*senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.*



Sono parole che hanno informato, da allora, il sapere umano, dando metodo e sostanza alla ricerca scientifica. Non si può fare scienza senza matematica.

Ma se questo è vero per quel che concerne l'acquisizione di **nuovo** sapere scientifico, parzialmente diverso è l'atteggiamento e la cura che occorre avere nei confronti dei ragazzi per avviarli all'approfondimento della conoscenza del mondo. Occorre sfruttare altre tecniche, anche di tipo psicologico.

Il primo passo verso la scoperta della meraviglia del mondo è l'essere colti da fascinazione. La reale comprensione della causa di questa fascinazione, dei principi alla base dei fenomeni fisici viene in un secondo tempo.

Per i ragazzi il loro fascino per i dinosauri, ad esempio, deriva dal fatto che questi oggi non esistono più, sono come dei fantasmi, non certo nella loro tassonomia o peggio in un'attenta e rigorosa loro classificazione genealogica.

Un ottimo modo per avvicinare i ragazzi alle tematiche scientifiche è dunque quello di trarre vantaggio dagli aspetti affascinanti che queste offrono alla loro naturale fantasia e curiosità (parola che spalanca possibilità infinite).

La fisica offre, a questo scopo, innumerevoli occasioni per accendere questa loro curiosità innata, partendo dagli aspetti inusuali che questa disciplina nasconde dietro un formalismo matematico spesso al di là della loro portata. Un giovane, se affascinato da un tema, troverà più facilmente le risorse personali necessarie ad affrontare uno studio corredato del necessario apparato matematico.

In questo webinar cercherò di illustrare qualche caso concreto di spiegazione di concetti complessi facendo un certo uso di animazioni e disegni.

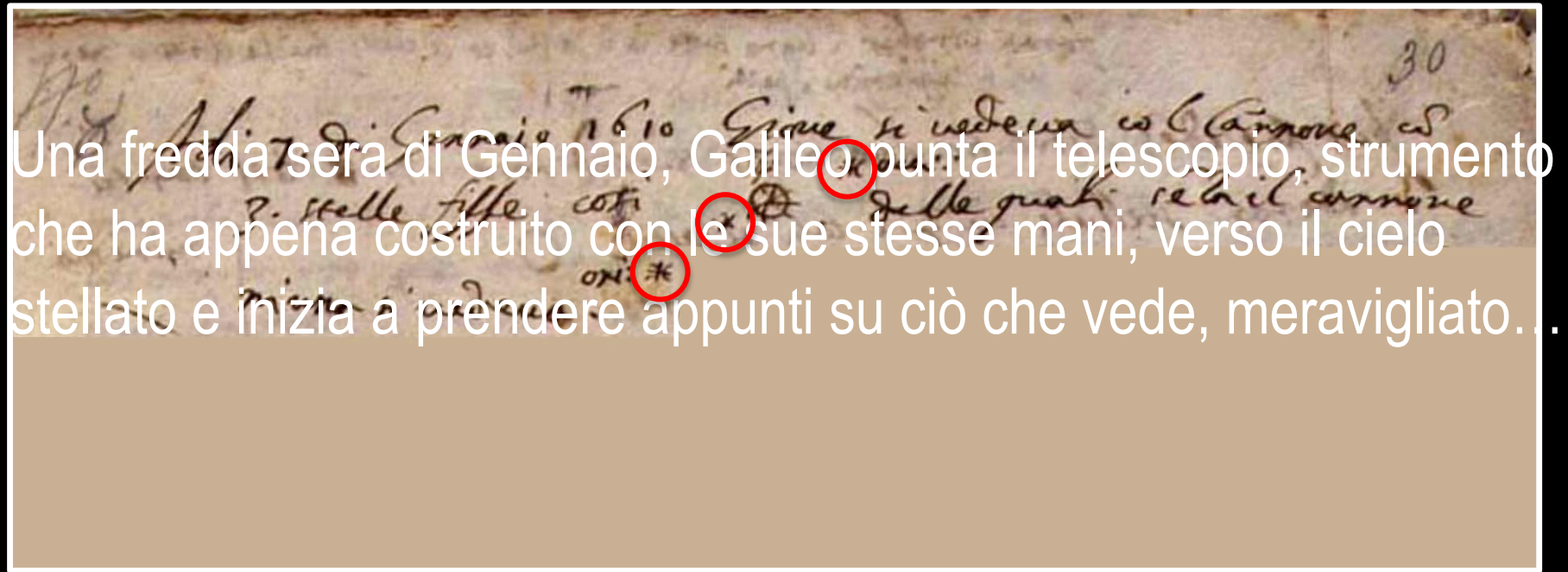
È necessaria un'avvertenza: scopo di questo webinar non è quello di fornire una completa lezione di fisica, chiusa in se stessa, bensì quello di illustrare un modo alternativo di insegnare un certo argomento.

Di conseguenza tratterò di alcuni argomenti in modo incompleto, senza una diretta consecutio tra di loro, solo per illustrare una possibile metodologia innovativa per avvicinare i giovani a tematiche affascinanti ma complesse.

Oltre all'utilizzo di un ausilio grafico in forma di animazione, credo sia molto utile fornire ai ragazzi anche un inquadramento umano, incentrato sulla storia personale dei personaggi che hanno rivoluzionato la fisica.

Come esempio di quest'ultimo punto, inizio il webinar con l'illustrare una pagina del diario personale di Galileo Galilei, la pagina che, in qualche modo, dà inizio alla moderna astronomia, una pagina dal fascino umano e dall'impatto storico ineguagliabile che a me ha sempre suscitato emozione.

# Note di Galileo sulla scoperta dei satelliti Medicei

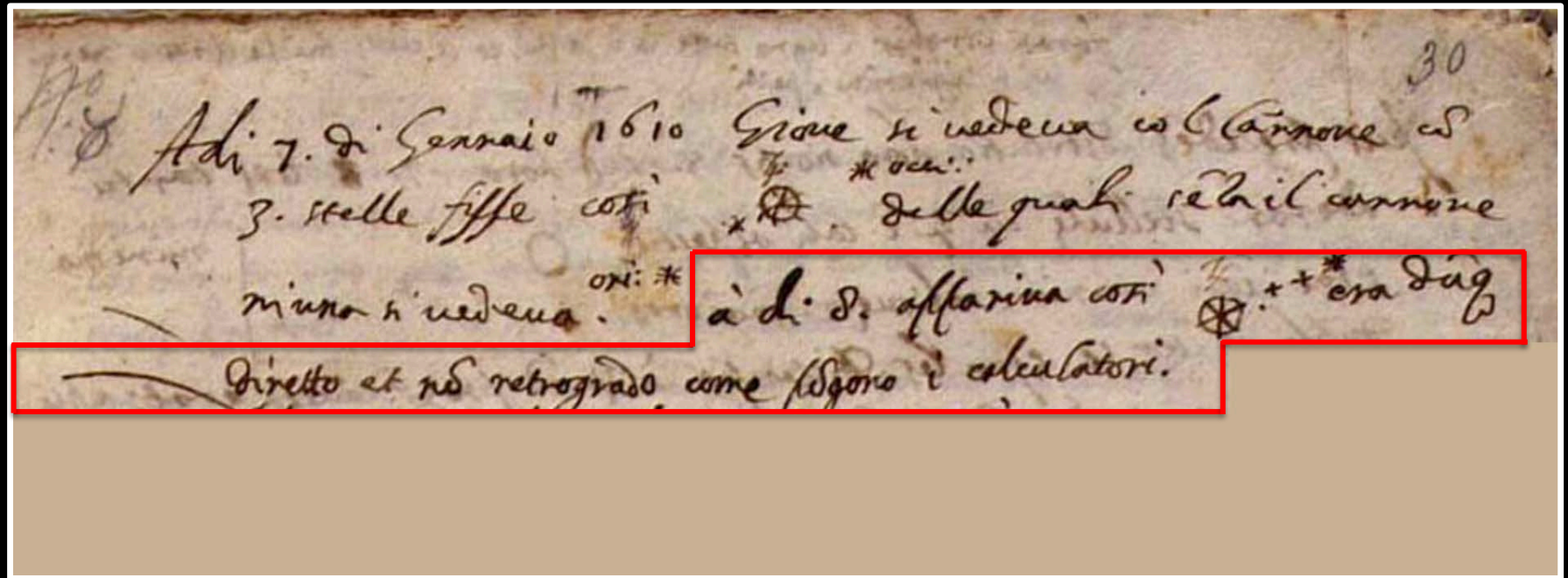


Adi 7 di Gennaio 1610 Giove si vedeva col cannone con 3. stelle fisse così [...] delle quali senza il cannone niuna si vedeva.

Una grande rivoluzione. Prima di quel momento si riteneva non ci fosse nulla di nuovo da **scoprire**, il mondo si pensava di sapere esattamente come fosse organizzato (per lo meno quello celeste, Tolomeo, Aristotele...).

Non solo, senza strumenti non si poteva neppure pensare di *osservare*...

# Note di Galileo sulla scoperta dei satelliti Medicei

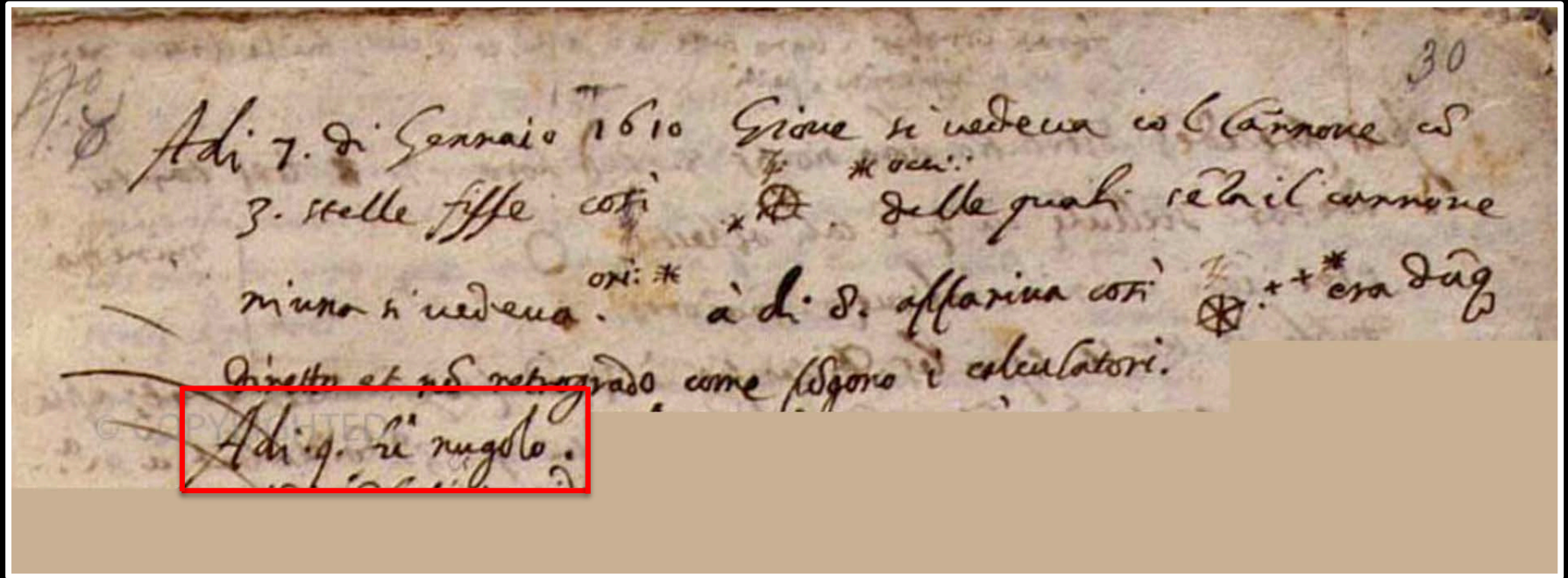


Adi 7 di Gennaio 1610 Giove si vedeva col cannone con 3. stelle fisse così [...] delle quali senza il cannone niuna si vedeva.

à dì 8. appariva così [...] era dunque diretto et non retrogrado come pongono i calculatori.

Seconda rivoluzione. Galileo si rende conto che i satelliti si muovono come se fossero, per Giove, apparentemente, ciò che la Luna è per la Terra: le stelle non si muovono dunque tutte attorno al nostro pianeta qualcuna si permette di farlo attorno a Giove! Rompe l'orologio tolemaico...

# Note di Galileo sulla scoperta dei satelliti Medicei

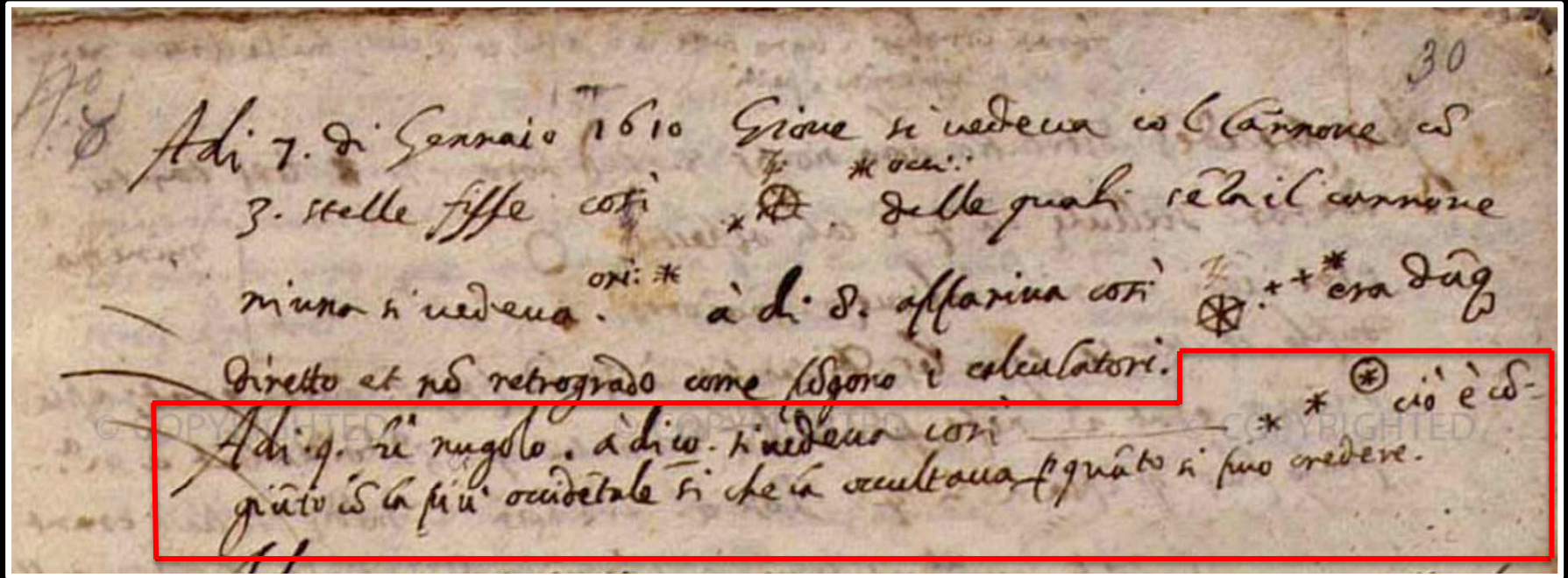


Adi 7 di Gennaio 1610 Giove si vedeva col cannone con 3. stelle fisse così [...] delle quali senza il cannone niuna si vedeva.

à dì 8. appariva così [...] era dunque diretto et non retrogrado come pongono i calculatori.

Adi 9. fu nugolo.

# Note di Galileo sulla scoperta dei satelliti Medicei

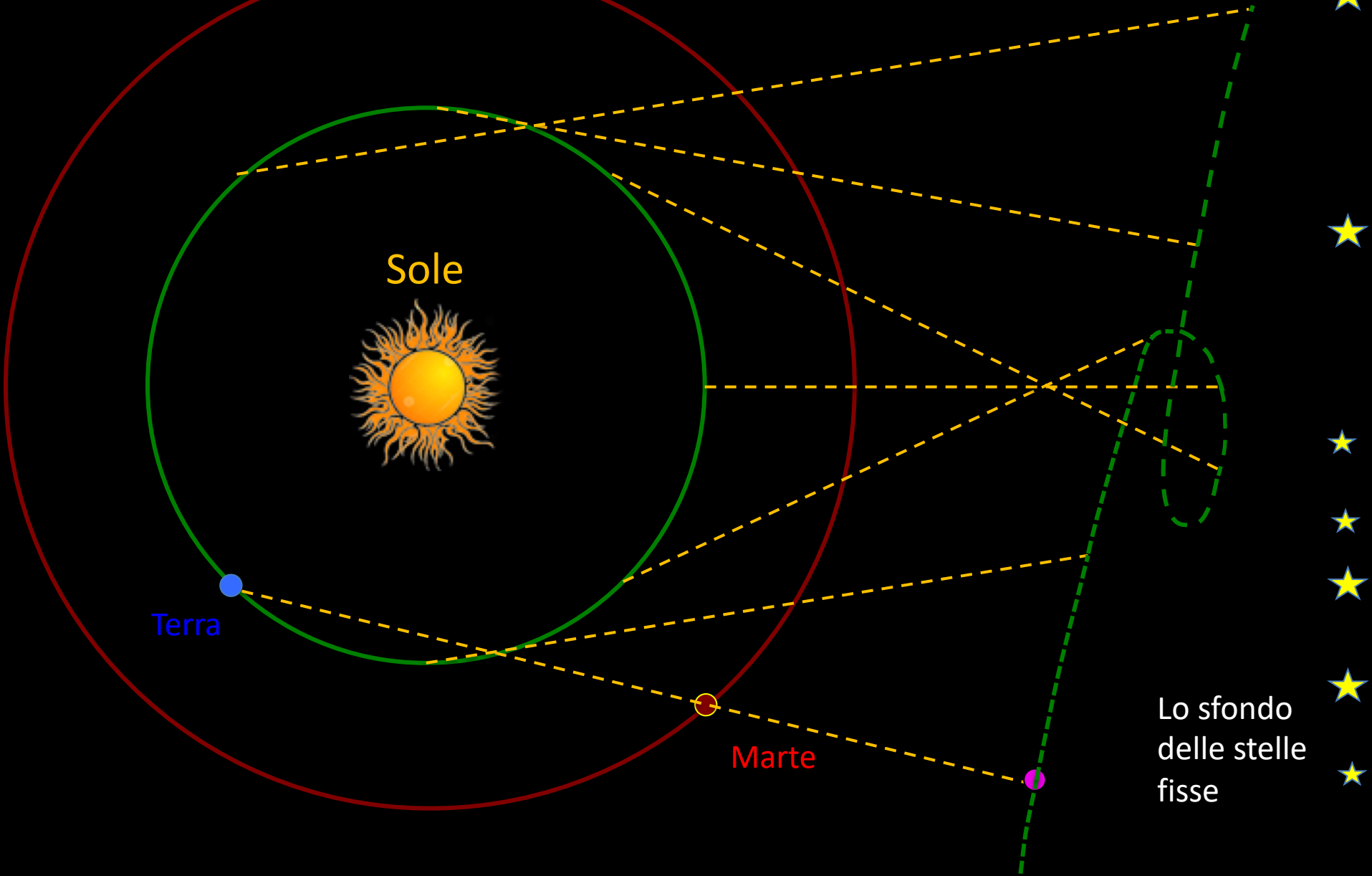


Adi 7 di Gennaio 1610 Giove si vedeva col cannone con 3. stelle fisse così [...] delle quali senza il  
cannone si vedeva. ~~Senza il cannone~~ conte conto del moto circolare attorno a Giove, non ci sono  
sfere celesti di cristallo in cui sono incastonate le stelle. Anzi, non tutti i  
puntini sono stelle!! (e, in questa comprensione, brilla il concetto di  
eclisse..)  
Adi 9. fu nugolo.  
a di 10. si vedeva così [...] ciò è congiunto con la più occidentale sì che la occultava, per quanto si  
può credere

Un altro argomento di difficile visualizzazione, per i ragazzi, è il modo con cui Copernico, Keplero e Galileo siano giunti a comprendere il fatto che la teoria eliocentrica, contrapposta a quella geocentrica di origine tolemaica, costituisse un approccio più generale e, in qualche modo, più semplificato di quella.

Marte, un pianeta noto da millenni, si comportava in maniera incomprensibile per gli astronomi che, nel corso dei secoli, cercavano di interpretarne la traiettoria nel cielo...

Galileo si chiese come sarebbe apparso questo fenomeno se osservato da un altro punto di vista, con altri occhi....



1.6.1543 19:40:20UT

Sole

A star field with a bright star labeled 'Sole' in the center-right. Several yellow circles are drawn around the star and other nearby stars. The background is black with many small white stars.

12.12.1546 21:18:30UT



Galileo rompe quindi lo schema preconconcetto e spalanca le porte della possibile conoscenza del cosmo all'uomo.

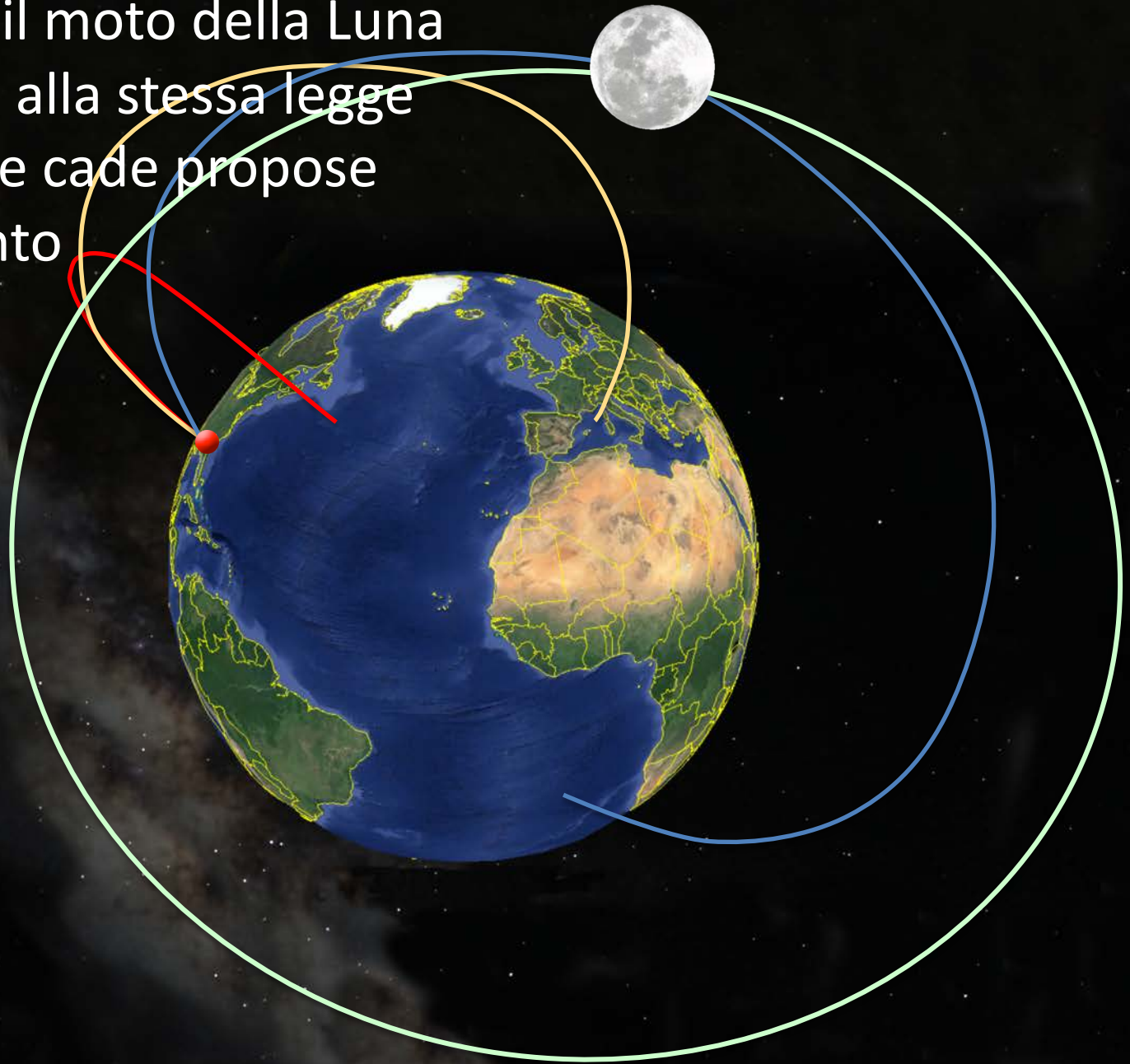
Si limita però ad aprire solo le imposte: sarà Newton a fare il passo successivo e a scoprire la legge di gravitazione universale.

Per Newton non era concepibile che oggetti differenti fossero soggetti a leggi distinte, ad hoc. La naturale conseguenza di questo preconconcetto era che una mela e la Luna, ad esempio, dovessero entrambe muoversi allo stesso modo, costrette in ciò da un'unica legge a carattere universale.

Tutto sommato qualsiasi oggetto cade a terra. Perché la Luna non fa la stessa cosa? Cosa glielo impedisce? C'è forse un motivo, una diversa legge rispetto a quella della mela che la esenta dal farlo?

Per la sua personale filosofia tutto questo non era concepibile.

Per descrivere il moto della Luna  
come soggetto alla stessa legge  
di una mela che cade propose  
un ragionamento  
di estensione  
al *limite*...



Grazie a Newton in tre secoli l'uomo arriva fin sulla Luna e manda messaggeri oltre il limite del Sistema Solare (le sonde Voyager).

Ma Sir Isaac Newton non era per nulla soddisfatto. Come diavolo funziona la gravità, come si spiegava l'azione a distanza? Non avendo risposte precise da dare diceva: *Hypoteses non fingo*.

Cinquantatré anni prima dello sbarco dell'uomo sulla Luna arriva Albert Einstein a risolvere il cruccio di Newton.

Scopre infatti che la forza di gravità, in quanto tale, non esiste!

La gravità, detto meglio, non è una forza, un qualcosa che agisca su qualcos'altro: è solo una distorsione dello spaziotempo, un effetto di pura geometria.

Pare complicato: tentiamo di capirci qualcosa...

Nel mondo a noi familiare la velocità di un oggetto dipende dallo stato di moto di chi lo osserva: consideriamo il lancio di una palla, da parte di una persona su un tapis roulant fermo, che sia osservata da una persona posta fuori dal tapis roulant (e quindi fermo anch'esso).



Entrambi gli osservatori vedranno la palla raggiungere la stessa velocità, rispetto a loro, di 40 km/h (ricordiamo che sono entrambi fermi)

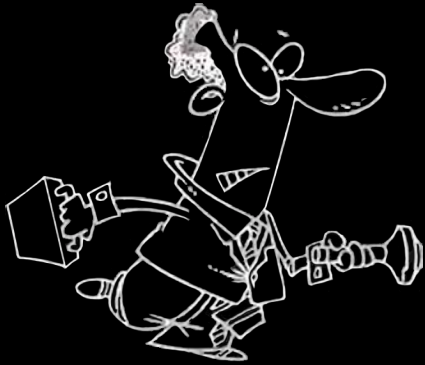
Supponiamo ora che il tapis roulant si muova (e con esso il lanciatore) ad una velocità di 20 km/h. Se la palla fosse di nuovo lanciata a 40 km/h, il lanciatore la vedrebbe allontanarsi da sé esattamente a questa velocità.

Nel mondo a noi familiare (quello di piccole velocità rispetto a quella della luce), vale la regola della **somma delle velocità**. La velocità di un oggetto **dipende** dallo stato di moto di chi la osserva!



La persona ferma rispetto al tapis roulant, invece, la vedrebbe spostarsi a 60 km/h, somma della velocità del tapis roulant (20 km/h) e della palla (40 km/h).

Einstein, nel 1905, pubblica un articolo nel quale esamina le conseguenze di un fatto peculiare, ossia che la velocità della luce, contrariamente a quella degli oggetti a noi familiari, è una costante universale della natura. Questo significa che **la sua velocità non dipende da quella di chi la osserva**, contrariamente a quel che accade per oggetti che si muovono molto più lentamente di essa: in pratica, a causa di questo fatto, il principio della somma delle velocità inizia a non valere più quando le velocità in gioco si avvicinano a quella della luce (300000 km/sec).

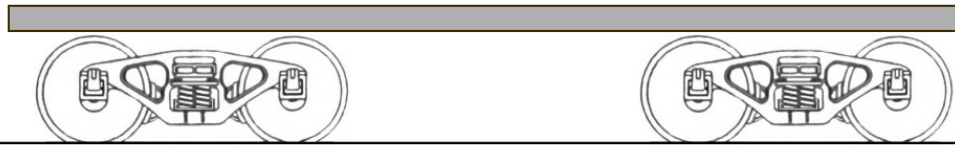


La luce propaga sempre e solo a 300000 km/s: non può mai rallentare o accelerare!

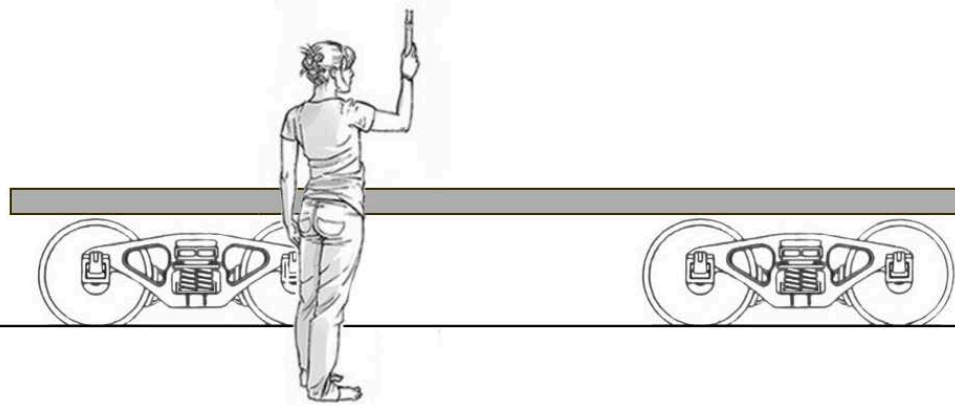


Consideriamo, a scopo illustrativo, un treno fermo in stazione e consideriamo un fenomeno, come ad esempio il trascorrere del tempo segnato da un orologio.

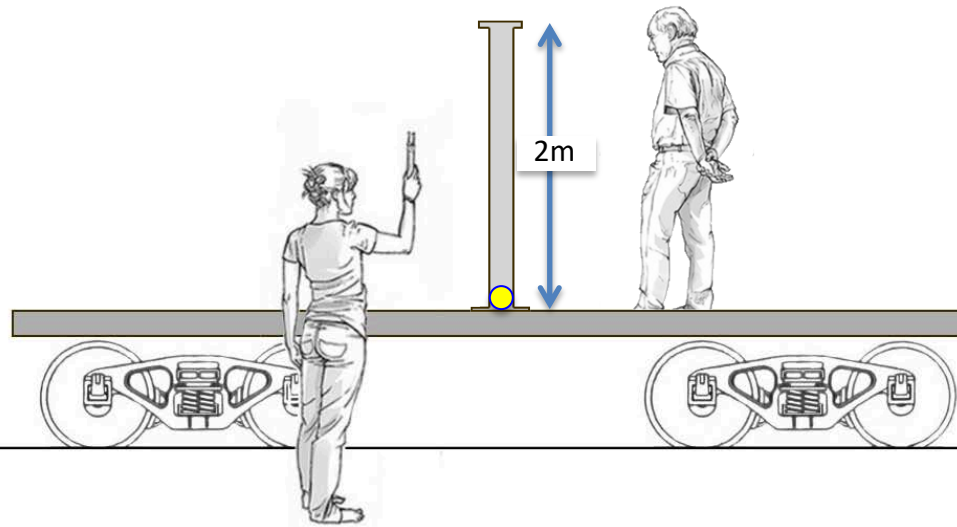
Parrebbe ovvio che il fenomeno non possa dipendere dallo stato di moto di chi osserva, ma vedremo che le conclusioni che traggono due persone in moto tra loro possono invece essere profondamente diverse a seconda della velocità relativa tra i due: il tempo, per loro, scorre a ritmi diversi!



Poniamo che, ferma in stazione, vi sia una donna che osservi un vagone, fermo anch'esso nella stessa stazione



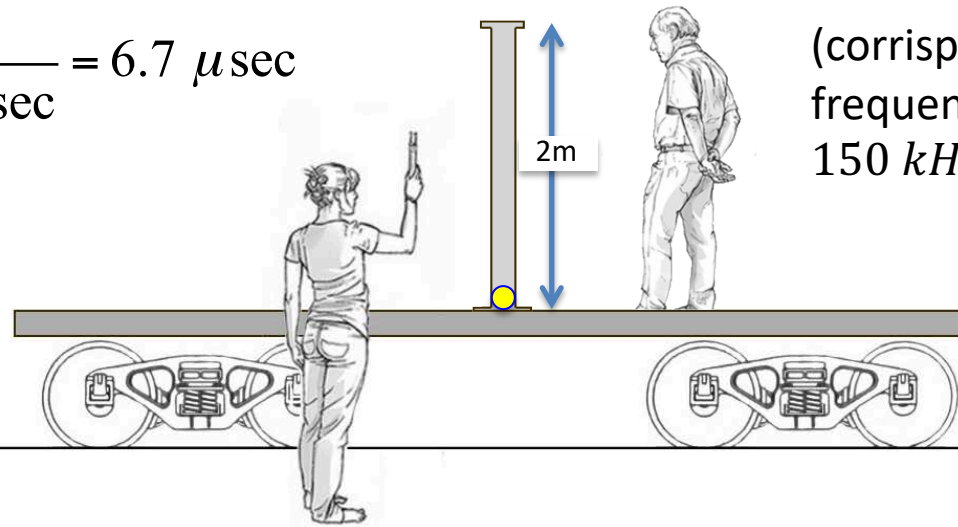
Supponiamo poi che sul treno vi sia un particolare tipo di orologio, nella fattispecie una torre cilindrica nella quale un fotone possa rimbalzare su e giù tra due specchi posti alle estremità verticali del cilindro (trascuriamo una serie di problemi, irrilevanti agli scopi di questo esempio, quali l'assorbimento del fotone da parte degli specchi e fenomeni correlati: si tratta di un *gedanken experiment*, un esperimento menatale, tipico approccio di Einstein)



Rappresentiamo il fotone che rimbalza su e giù, con un po' di fantasia, con una pallina. Supponiamo anche che ci sia un secondo osservatore, posto sul treno, che osserva anch'egli lo strano orologio. Entrambi i personaggi sono posti nello stesso sistema di riferimento inerziale, quello del treno che, per ora, è **fermo** in stazione.

In questo caso entrambi i personaggi vedono l'orologio segnare esattamente lo stesso tempo, in quanto i fotoni percorrono, per entrambi, lo stesso spazio (2m) andando alla stessa velocità  $c$  (che, ricordiamo è comunque una costante della natura e non dipende dalla velocità di movimento di chi la osserva)

$$t = \frac{s}{c} = \frac{0.002 \text{ km}}{300000 \text{ km/sec}} = 6.7 \text{ } \mu\text{sec}$$

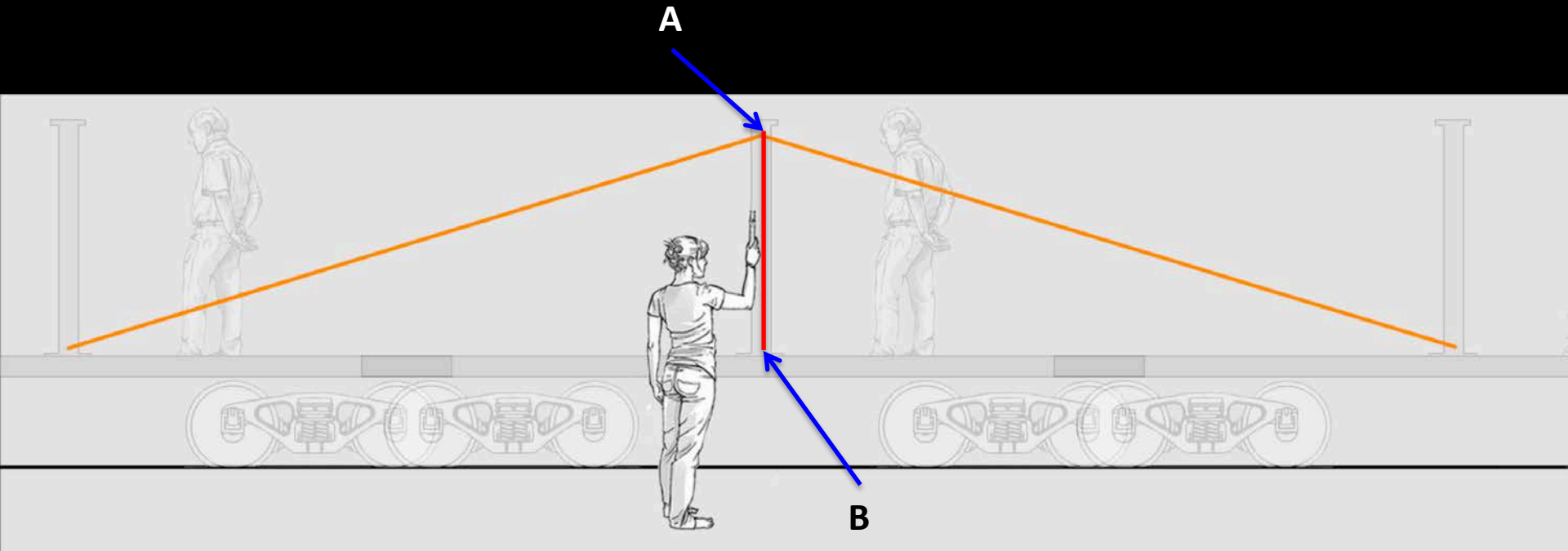


(corrispondente a una frequenza  $f = 1/t$  di circa 150 kHz)

Vediamo ora cosa accade alle osservazioni fatte dai due personaggi nel momento in cui il treno, non più fermo, si trovasse invece a passare di fronte alla ragazza in moto rettilineo ed uniforme (in modo che, sia l'uomo, nel sistema di riferimento  $O$ , che la ragazza, nel sistema  $O'$ , si trovino in condizioni di moto relativo **inerziale** tra loro)

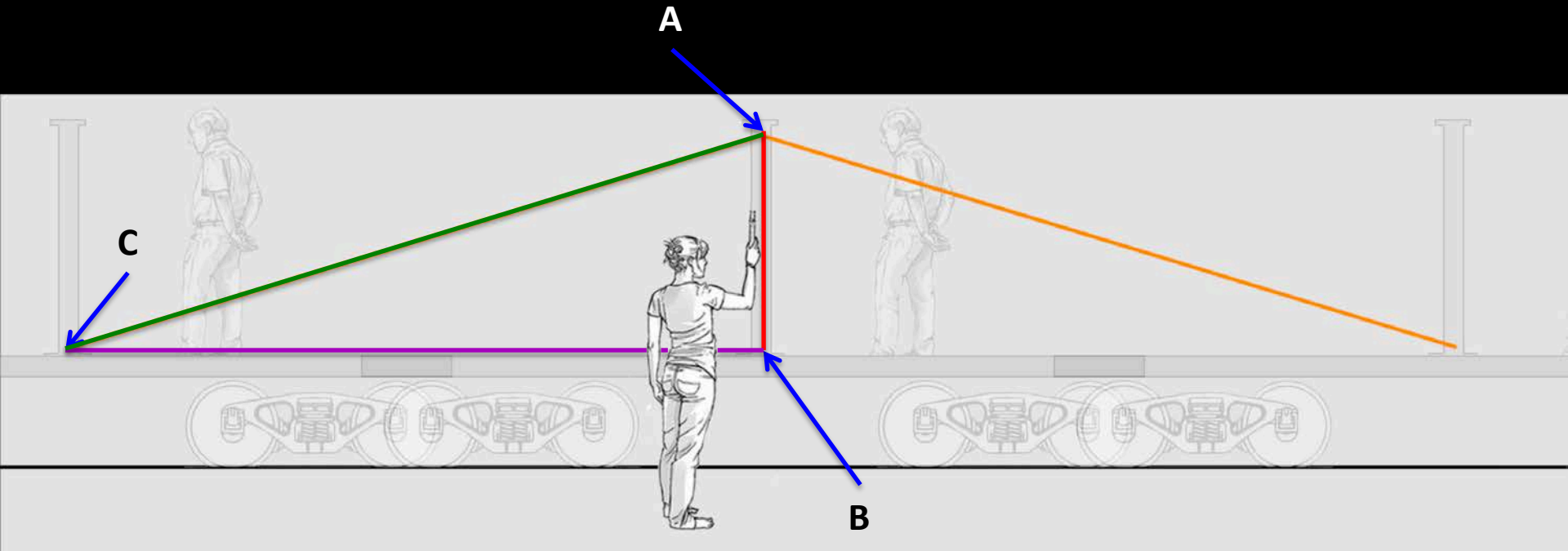
Analizziamo ora ciò che osservano i nostri due personaggi:

A giudizio dell'uomo in moto sul treno, il tratto percorso dal fotone è lo stesso di quello che osservava stando fermo in stazione.



Questo è garantito dal principio di relatività galileiano: se ciò non fosse, il signore avrebbe un modo (potrebbe fare un esperimento) per determinare se si trova in moto o meno, rispetto a qualcun altro, cosa che sappiamo essere impossibile a farsi.

- Il tempo che intercorre tra due rimbalzi,  $t$ , per lui, sarà dato da  $t = \frac{AB}{c}$

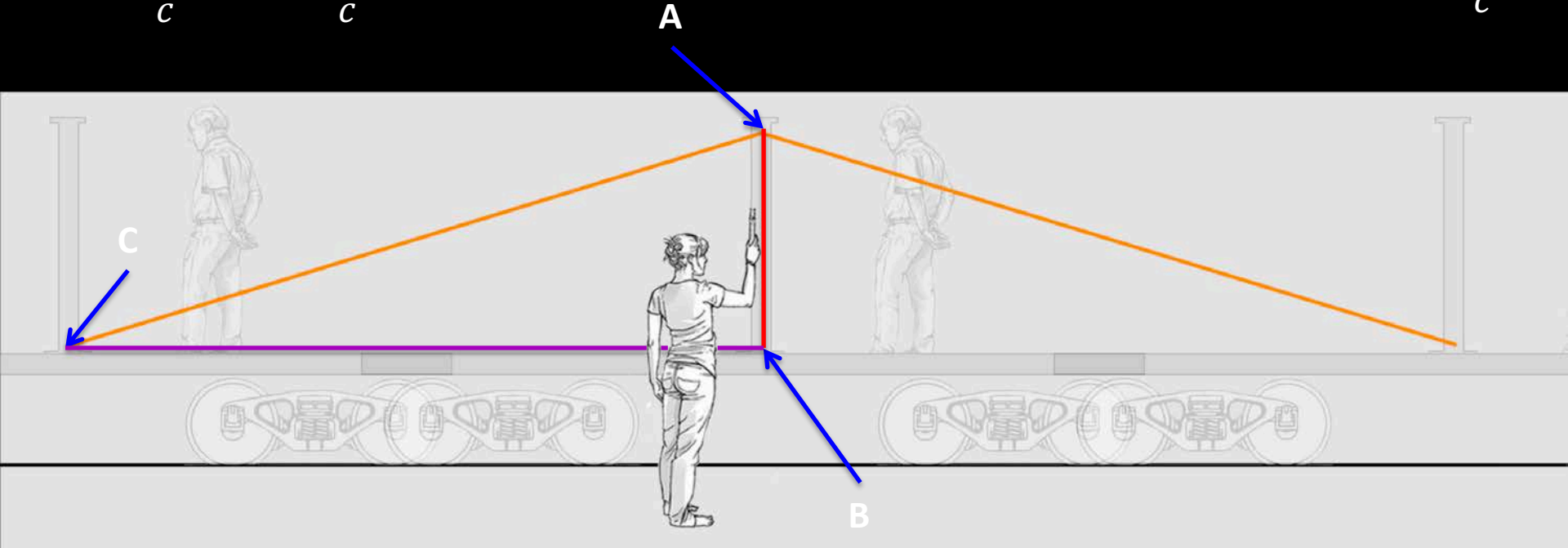


- La ragazza ferma in stazione, invece, vede il fotone che percorre un tratto più lungo, **AC**. Ma ricordiamo il fatto fondamentale, ossia che anche il tratto **AC** viene percorso sempre alla stessa velocità del tratto **AB** in quanto *i fotoni si muovono sempre solo alla velocità della luce che è invariante e non dipende dal particolare sistema di riferimento di chi osserva.*

Questo significa che per la ragazza il tempo che intercorre tra due rimbalzi,  $t'$  sarà dato dalla relazione:

$$t' = \frac{AC}{c} = \frac{\sqrt{AB^2 + BC^2}}{c}$$

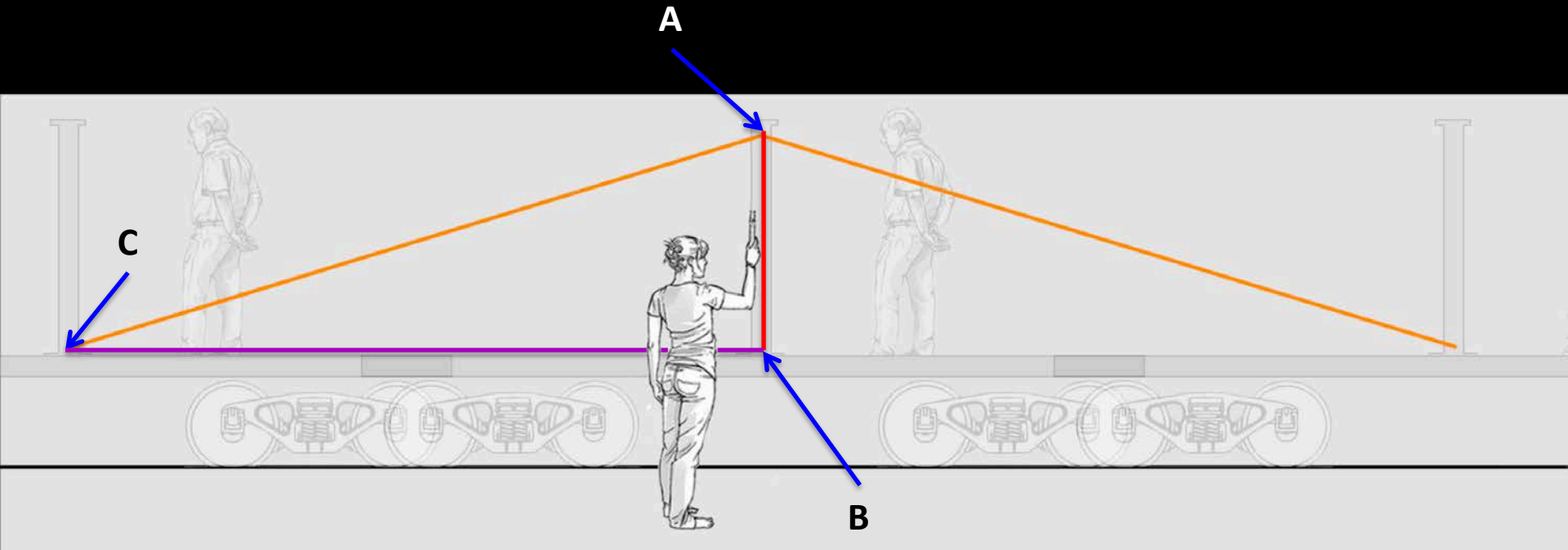
mentre per l'uomo sul vagone:  $t = \frac{AB}{c}$



Poichè  $AC > AB$  ma  $c$  ha sempre lo stesso valore, si avrà che ,  $t' > t$

**A causa dell'invarianza della velocità di  $c$** , la ragazza vedrà il fotone impiegare **più tempo** a rimbalzare avanti e indietro rispetto a quello che osserva il signore sul treno. **Per la ragazza, il tempo segnato da un orologio in moto inerziale, rispetto a lei, viene visto battere più lentamente!**

Qualcuno sarà tentato di dire: mah, dopotutto si tratta solo di un effetto ottico, il tempo continua a scorrere uguale comunque. Il problema è che qualsiasi fenomeno avviene in moto sul treno, esso percorre questa stessa traiettoria a triangolo e viene percepito dalla donna come se avvenisse in ritardo.



Un oggetto che cade, la barba che cresce, una mosca che vola, TUTTO viene visto da lei come rallentato. Un istante nel tempo è definito da ciò che vi accade (alle 12:32 parte la nave, alle 18:05 nasce Carlo): ognuno di quegli eventi, visto da qualcuno in moto rispetto ad essi avviene visto avvenire con uno scandire diverso. Il tempo ce lo portiamo addosso individualmente.

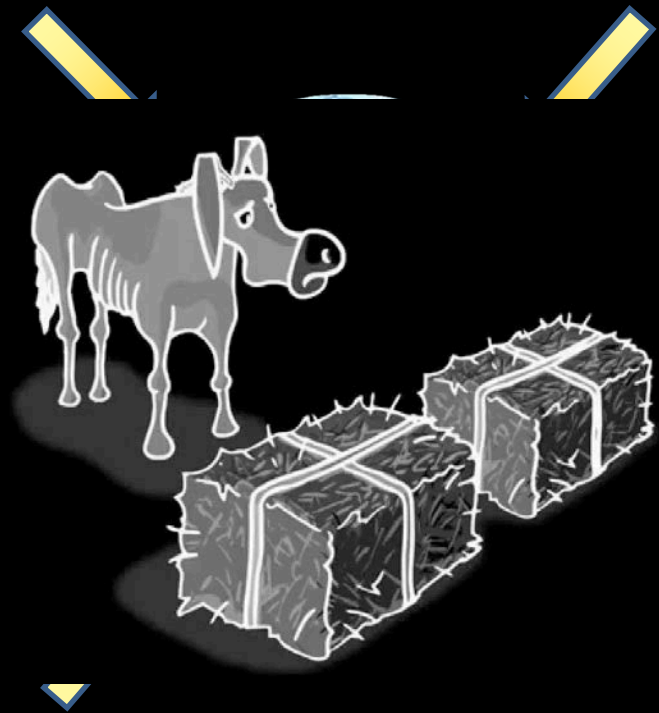
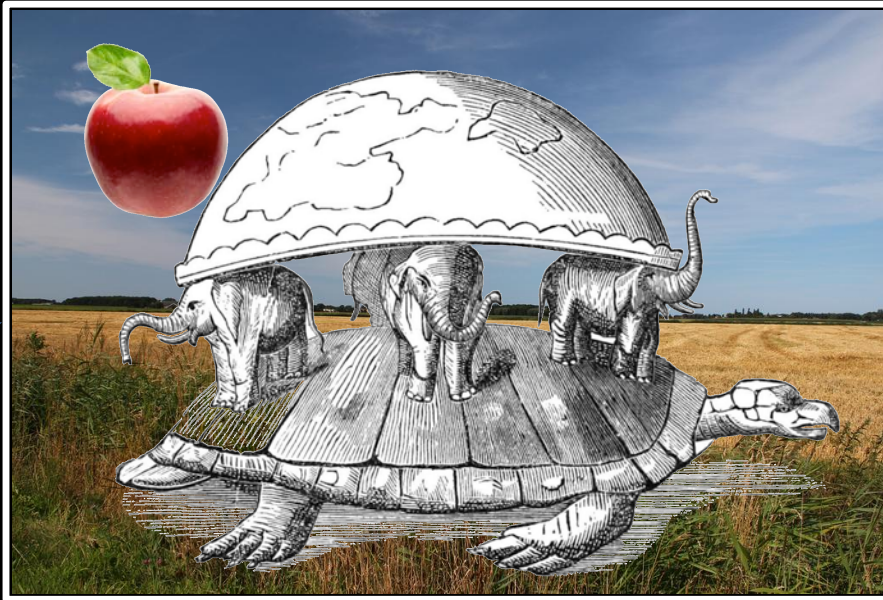
Animazioni analoghe possono essere utilizzate per illustrare il fatto che non è possibile stabilire la eventuale contemporaneità tra eventi: non è possibile, neppure in linea di principio, stabilire se due fatti avvengono nello stesso istante. A seconda della velocità relativa di chi osserva uno può avvenire prima dell'altro, dopo l'altro o assieme. Poiché osservatori in moto a velocità diverse vedranno fenomeni in ordine diverso, significa che non esiste UN particolare tempo uguale per tutti.

Il tempo ce lo portiamo addosso come un vestito: non ce ne accorgiamo perché non ci capita mai di spostarci a velocità neppure vagamente prossime a quella della luce (a paragone, la velocità del suono è circa 830 mila volte più lenta di quella della luce).

Un altro argomento ostico da spiegare ai ragazzi è il concetto di gravità inteso come **curvatura** dello spazio-tempo, concetto che prende il posto, in fisica, dell'equivalente **attrazione gravitazionale**

Ecco quindi un possibile esempio di proposta formativa su questo tema:

Sin da bambini siamo abituati all'idea che qualcosa ci attiri verso il suolo: questo qualcosa lo chiamiamo forza di gravità.



Una domanda che gli antichi filosofi si ponevano da tempo immemorabile era: su cosa poggia la Terra? La risposta che alcuni davano era del tipo: la Terra poggia su elefanti e gli elefanti poggiano su una tartaruga che poggia su una tartaruga che poggia su una tartaruga che...

Anassimandro, per primo, rompe il cerchio: la Terra non ha bisogno di poggiare su alcunché perché lo spazio attorno a sé è isotropo e non esiste una direzione privilegiata in cui muoversi. Non esiste un su e un giù.

Einstein, parzialmente soddisfatto di aver compreso il profondo e indissolubile legame tra spazio e tempo, voleva trovare il modo di generalizzare la sua teoria, valida unicamente per moti rettilinei uniformi, al caso di moti vari, con continui cambiamenti di velocità (moti che sono la norma nel mondo che ci circonda).



Per sviluppare il proprio ragionamento, fece ancora una volta ricorso a un esperimento mentale, basandosi stavolta su ciò che aveva compreso nel caso di moti rettilinei uniformi relativi tra loro (la relatività cosiddetta "Ristretta").

Come punto di partenza di questo ragionamenti si chiese cosa avrebbe visto un osservatore in un sistema di riferimento in quiete rispetto ad uno in moto accelerato (ricordiamo che una rotazione costante implica comunque una variazione continua della direzione della velocità e quindi un'accelerazione).

Consideriamo una giostra da Lunapark, una specie di centrifuga  
Cosa fu in grado di desumere Einstein da questo esperimento mentale?

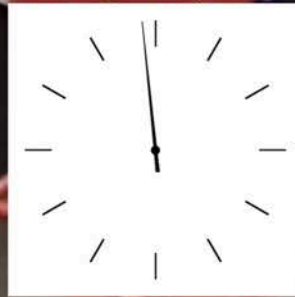


Al comparire di un'accelerazione vi è, in corrispondenza, un rallentamento dello scorrere del tempo (un orologio accelerato scorre più lento di uno in quiete).

Quindi Einstein fa due più due e si rende conto che:

- Per le persone nella giostra (che non vedono cosa accade fuori e non si rendono quindi conto che questa prende a girare), è indifferente pensare che il loro aderire alle pareti sia dovuto a un'accelerazione o a una forza di gravità comparsa alle loro spalle.
- Per un orologio che accelera rispetto ad uno che rimane in quiete (o in moto rettilineo uniforme) il tempo scorre a un ritmo sempre più lento, all'aumentare dell'accelerazione, rispetto all'altro.

Orologio in quiete





In presenza di **gravità** o di un'**accelerazione**, il tempo quindi *rallenta*.



E lo spazio?

Einstein si immagina un terzo *gedanken experiment*

Moto uniforme (quite)



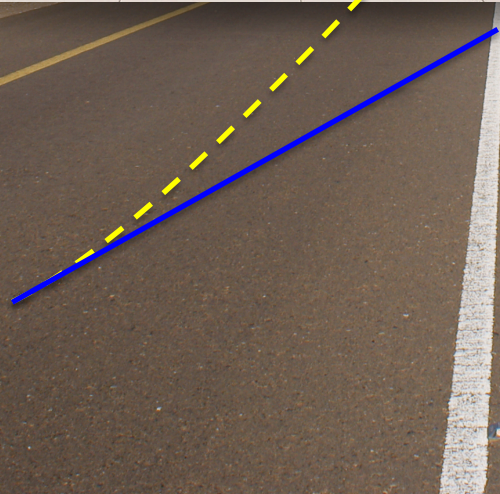


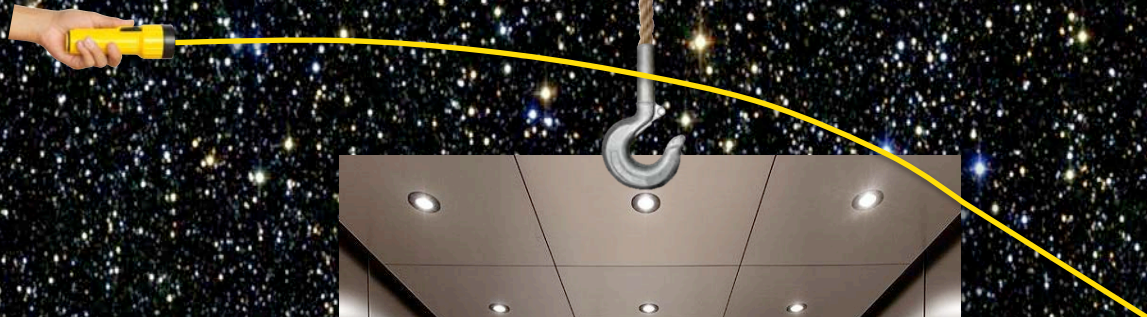
Moto uniforme  
(**non** in quiete)





Questo è ciò che accade quando l'ascensore è in caduta libera (in presenza di gravità). Se invece l'ascensore si trovasse nel cosmo, lontanissimo dalla terra, in **assenza** di una forza gravitazionale e venisse tirato (accelerato) da un cavo?...





Einstein intuì che **un campo gravitazionale ed un'accelerazione producono lo stesso, identico effetto**: in assenza di campo non si ha peso (come pure in assenza di accelerazione) e in presenza di un campo (come in presenza di una accelerazione) la luce segue una traiettoria curva, esattamente come fanno i proiettili di un cannone lanciati in aria.





Ora, il raggio della curvatura seguita dalla luce dipende da quanta accelerazione subisce chi osserva o, alternativamente, a quanta gravità è soggetto (visto che sono fenomeni indistinguibili e quindi del tutto equivalenti!!!)





Il gigantesco passo concettuale compiuto da Einstein, consiste nel capire che questo equivale a considerare lo spazio-tempo come una sorta di tessuto la cui struttura è modificabile dalla presenza di materia (o energia)! Questo implica che non occorre più ipotizzare un misterioso principio di azione a



**Questo concetto, che si esplica in una completa e sofisticata teoria, chiamata**

## **Teoria della Relatività Generale**

**altro non è che una descrizione della forza di gravità come una distorsione geometrica dello spazio-tempo**



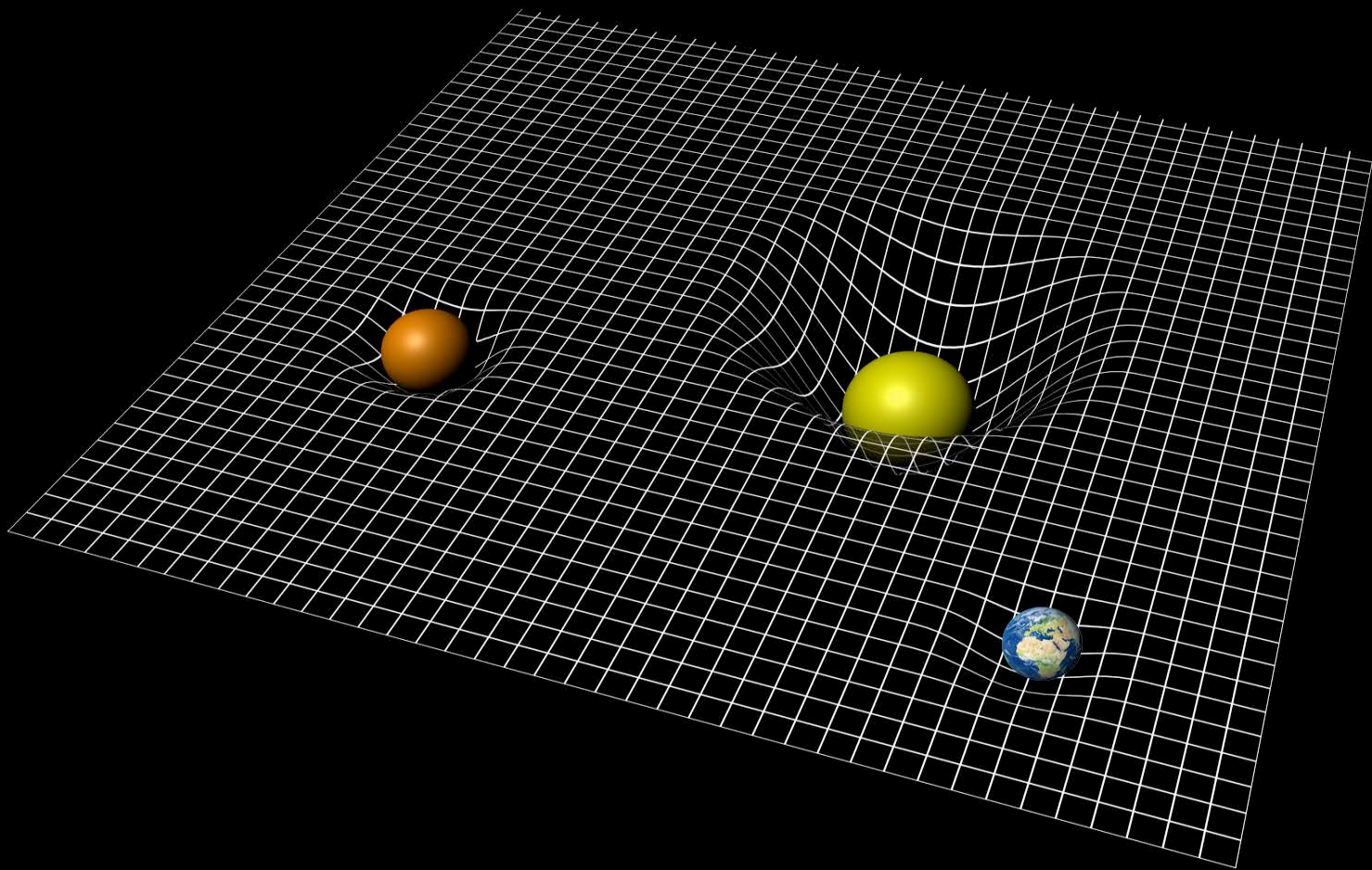
Un elegante costrutto teorico,  
certamente, ammisero i fisici

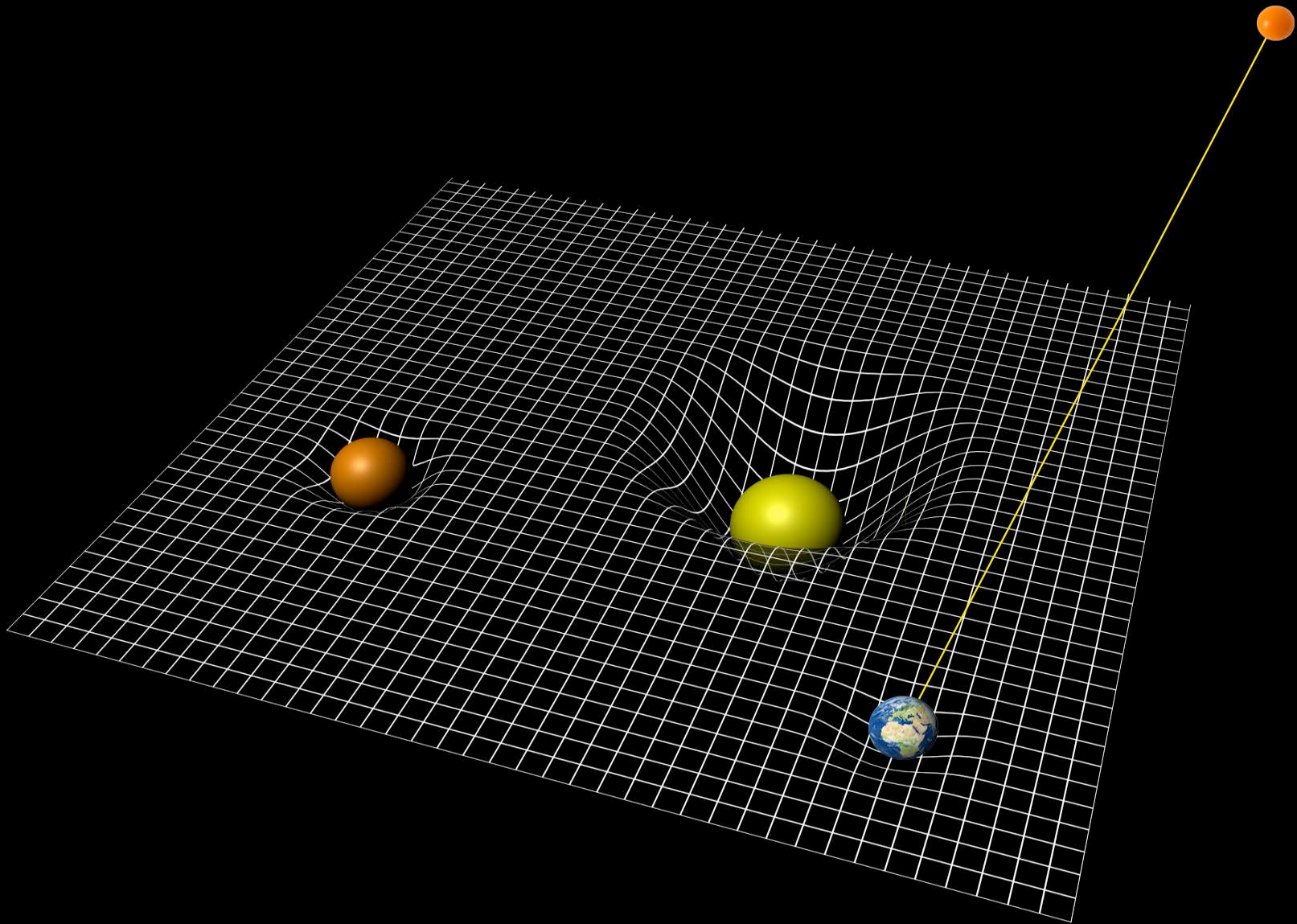
Ma le prove?

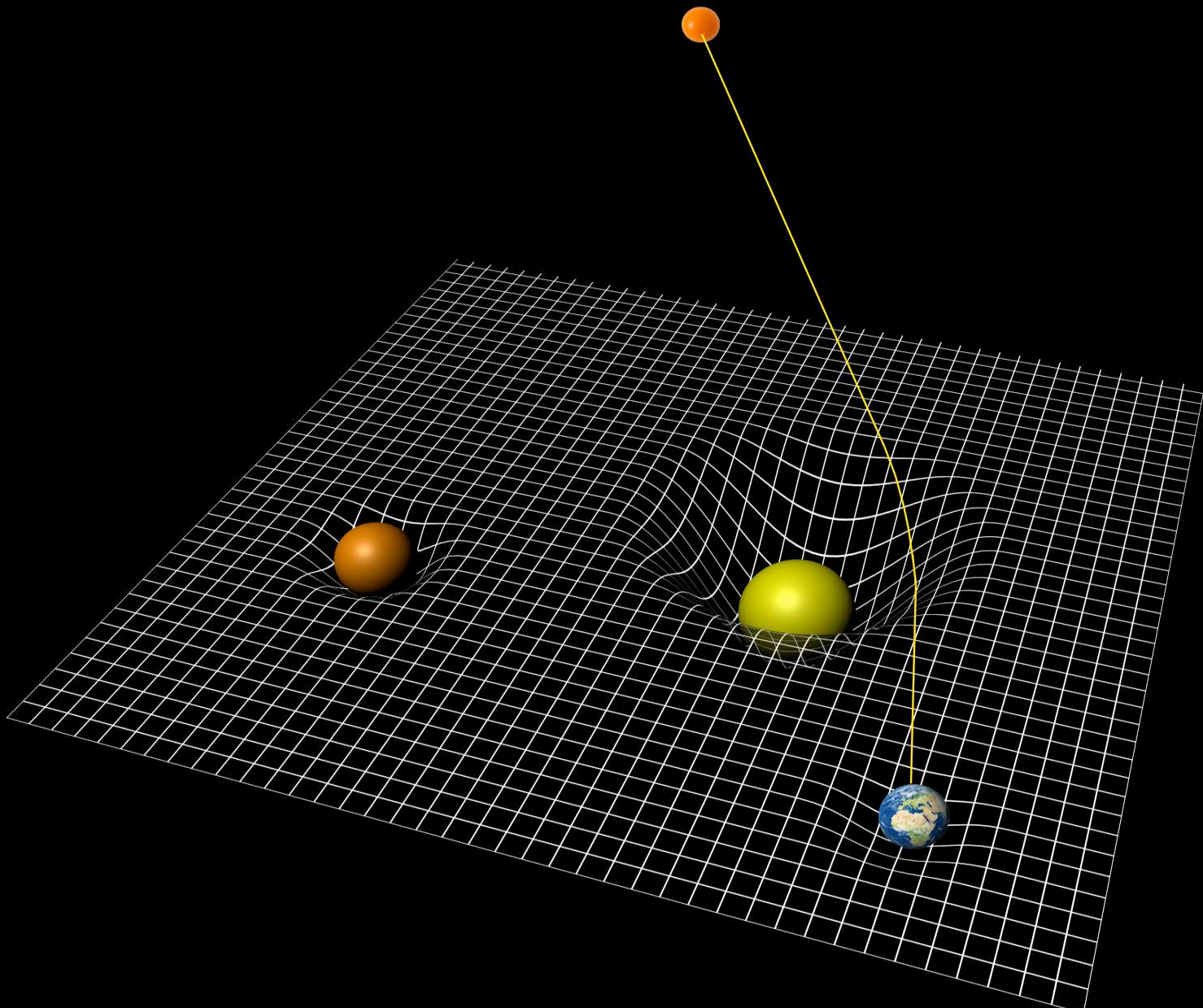
*“Affermazioni eccezionali richiedono  
prove eccezionali”*

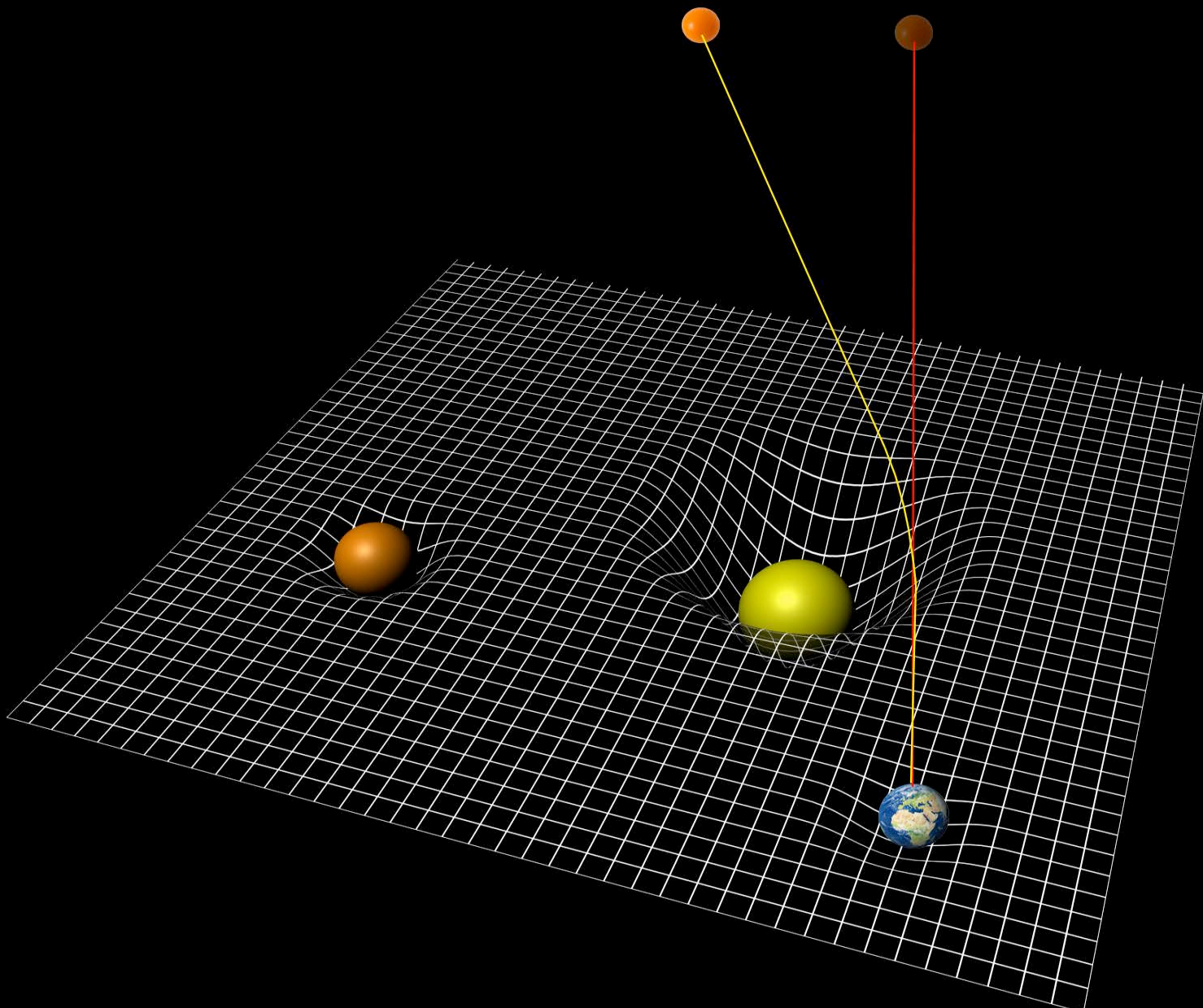
(C. Sagan)

Sarà, di nuovo, il buon Albert a proporre  
un esperimento dirimente



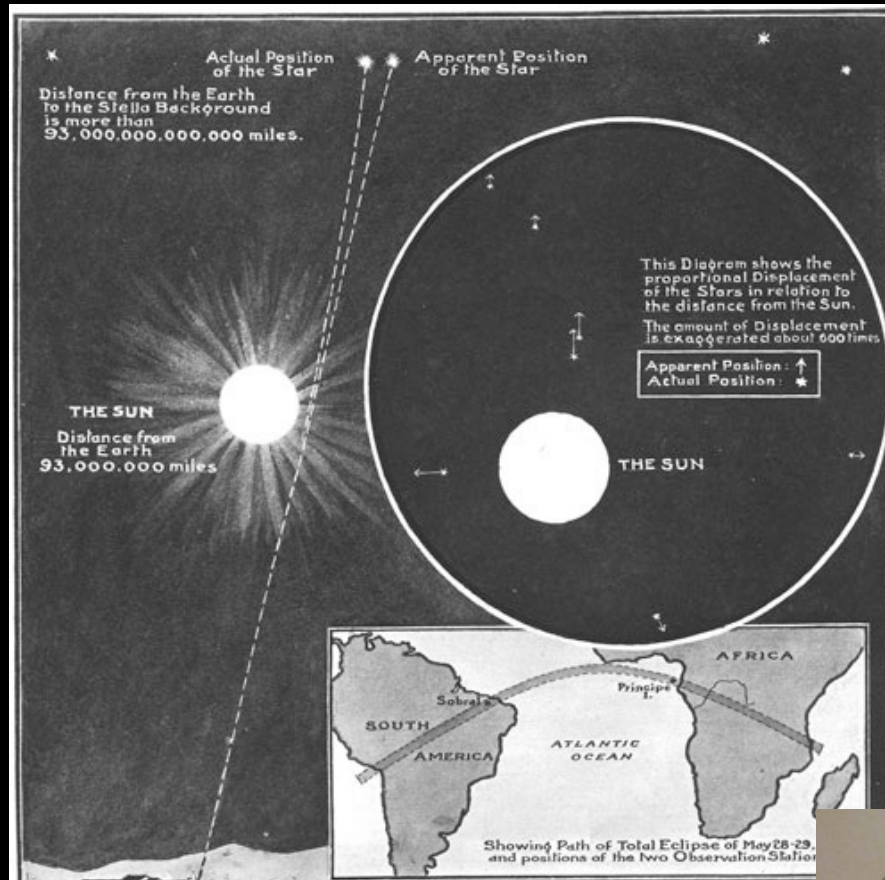




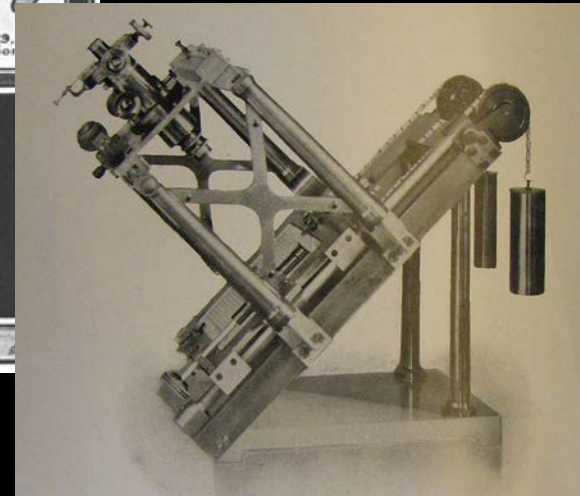
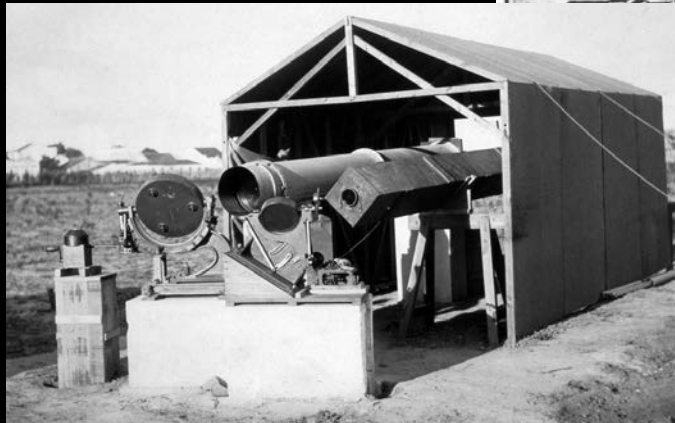


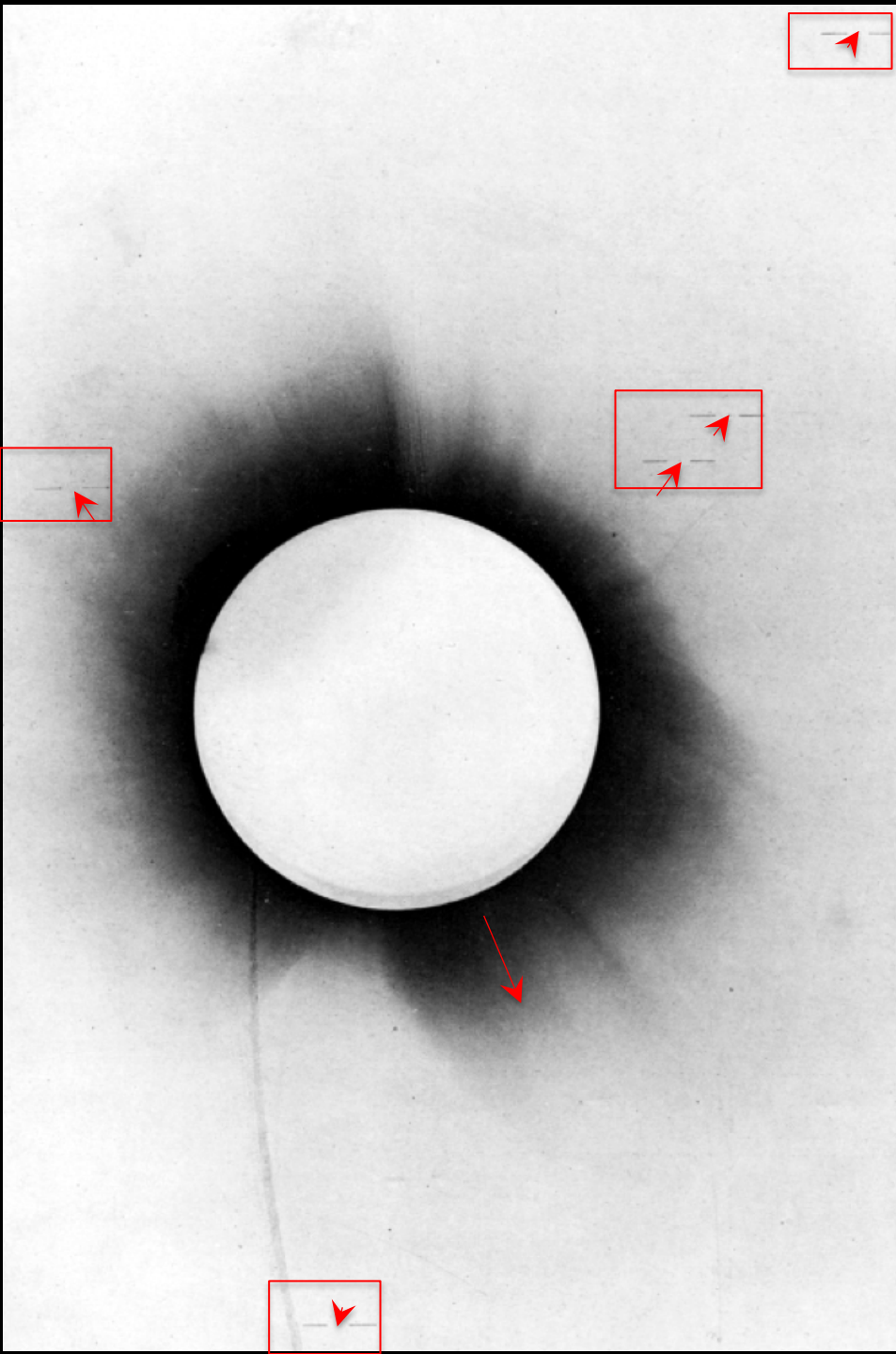


Arthur Eddington

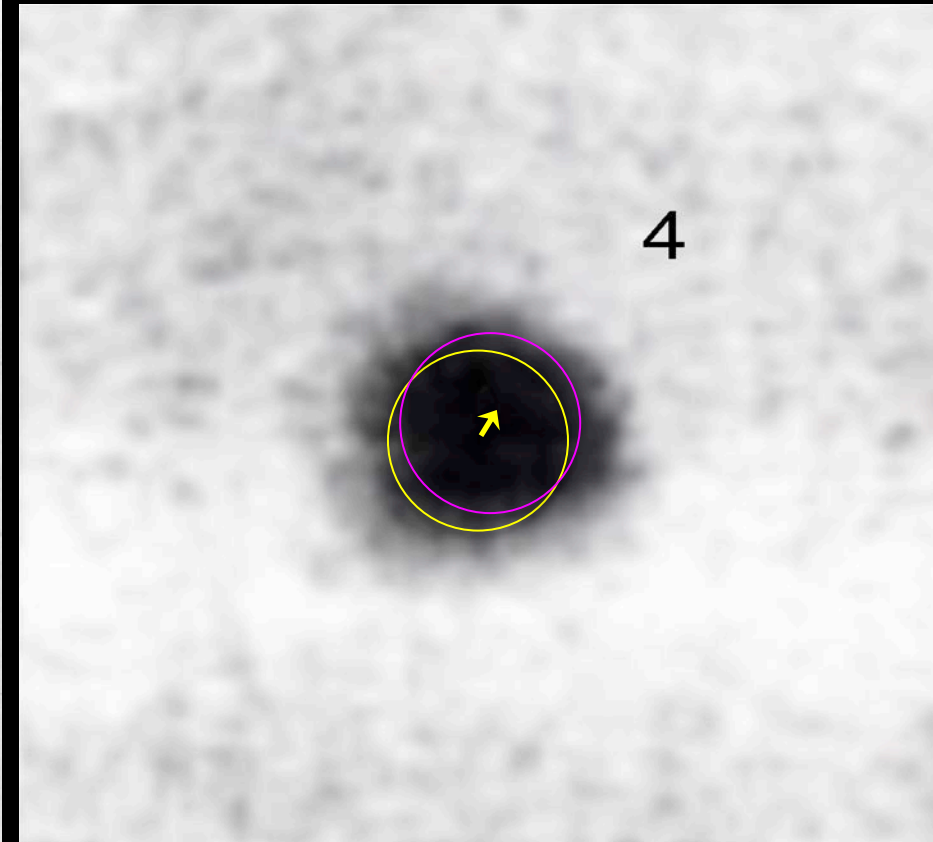


Andrew Crommelin



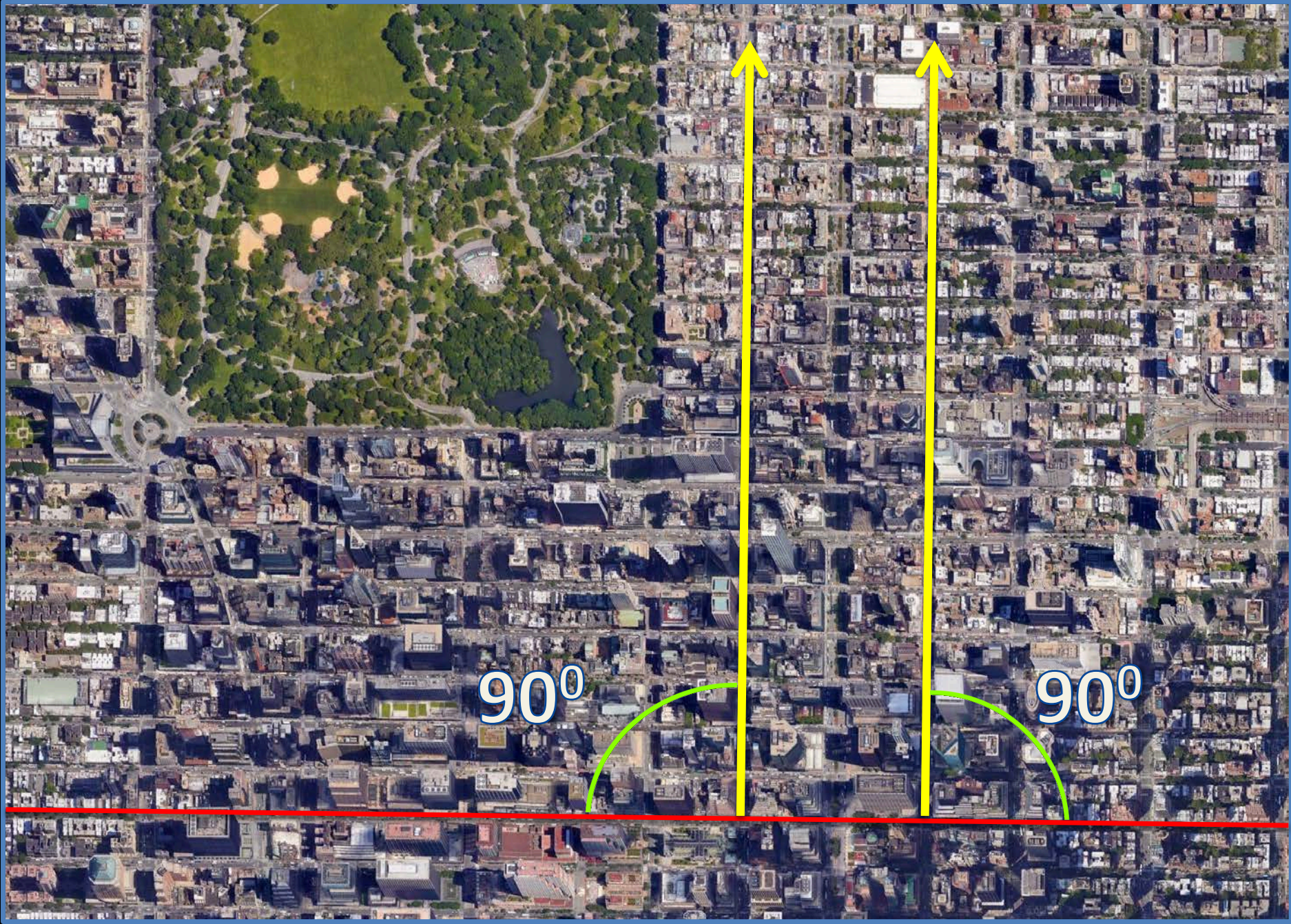


Lo spostamento della posizione delle stelle in funzione della distanza dal Sole che era previsto da Einstein è indicato con delle freccette rosse ma è ingrandito di circa 400 volte per renderlo visibile



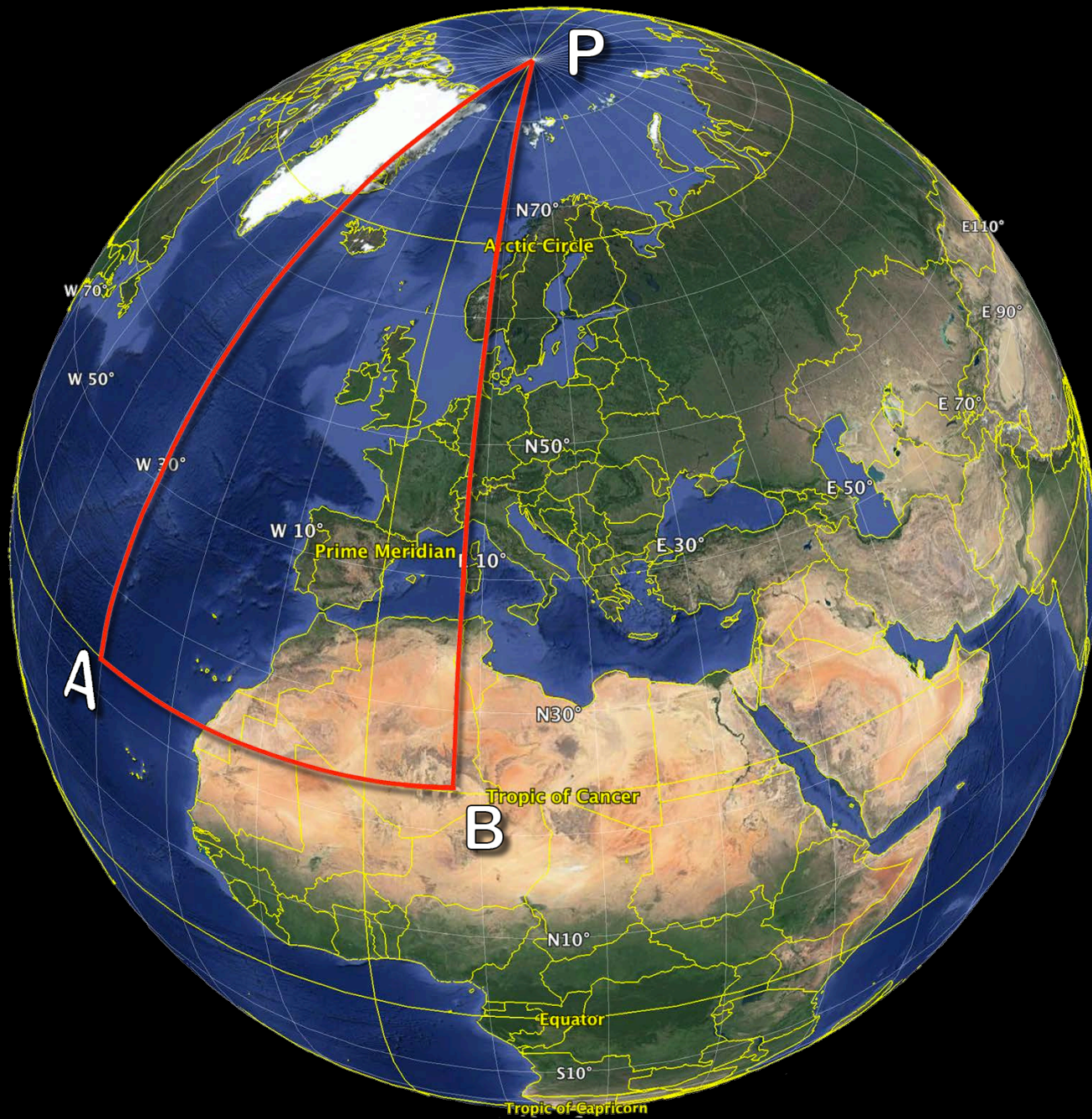
Lo spostamento reale è quello visto qui sopra, dove la macchia scura è la stella, il cerchio viola la stima della sua forma al momento dell'eclissi, e il cerchio giallo quando la stessa stella si trova lontano dal Sole (foto presa sei mesi dopo l'eclisse)

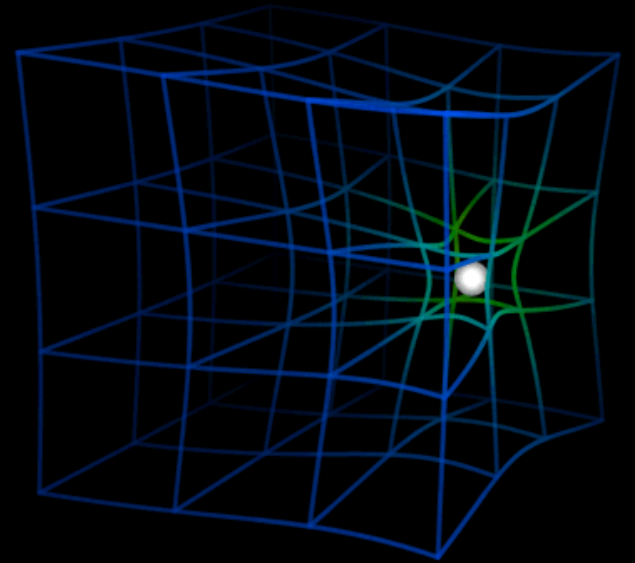
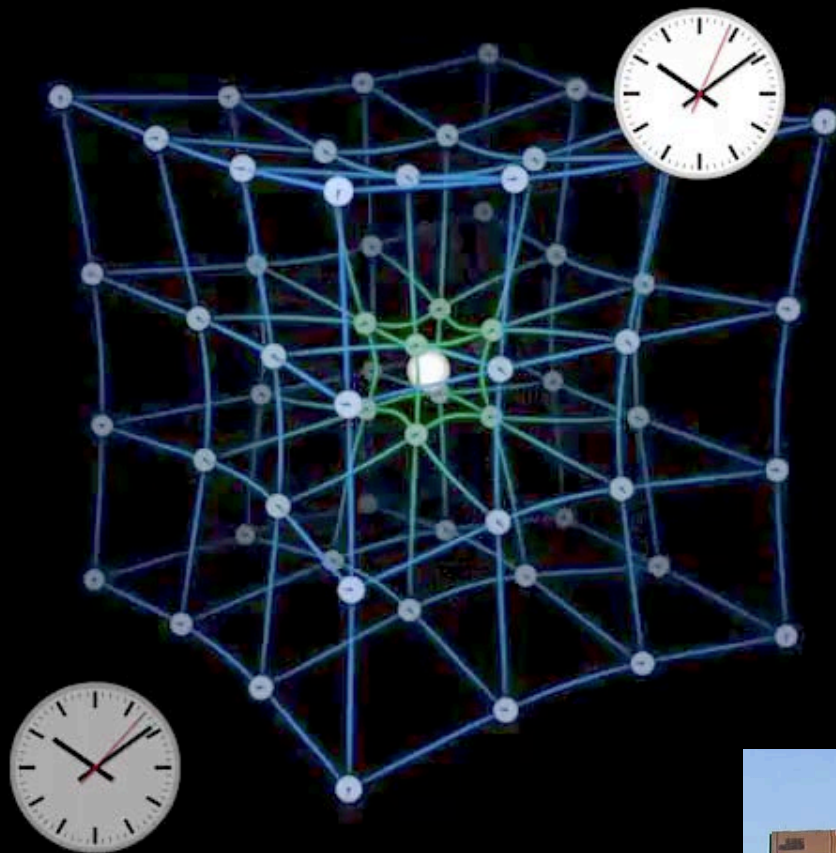
Ma cosa centra la geometria  
dello spazio tempo con le  
onde gravitazionali?



90°

90°





La TRG predice quindi  
l'esistenza di queste  
distorsioni della struttura  
dello spaziotempo che  
propagano in forma  
ondulatoria nel cosmo



Il tempo a mia disposizione volge al termine: vediamo allora quali strumenti si possono utilizzare per creare questo tipo di animazioni a supporto della didattica frontale (senza per questo voler fare pubblicità a un prodotto preciso)

- Fare lezione appoggiandosi a slides prodotte con strumenti informatici (tra i possibili citiamo Powerpoint, Keynote, Powtoon, Prezi) offre, rispetto alla tradizionale lezione alla lavagna, vantaggi e svantaggi.

### Pro:

- ✓ Far comparire il testo quando si parla costringe lo spettatore a leggere solo la parte di cui si sta parlando (limita la distrazione da lettura)
- ✓ Permette di inserire figure e animazioni che arricchiscono il discorso
- ✓ Al termine della lezione sono pronte sia la dispensa stampabile che le animazioni in formato filmato (per un eventuale riuso, tra l'altro

### Contro:

- ✓ Le lezioni devono essere preparate con anticipo
- ✓ La tecnica necessaria può essere complicata da imparare (in funzione della complessità di cui si vuole dotare la presentazione

Powerpoint, in particolare, permette anche registrare la voce e rendere il passaggio da un'animazione all'altra sincronizzato al parlato. Questo è utilissimo per preparare lezioni da distribuire in formato elettronico sia su web (youtube) o via chiavetta (non richiede altro che un browser).

Più complesso il discorso che riguarda figure e animazioni.

### Figure:

Per creare figure occorre essere familiari con un certo numero di applicazioni:

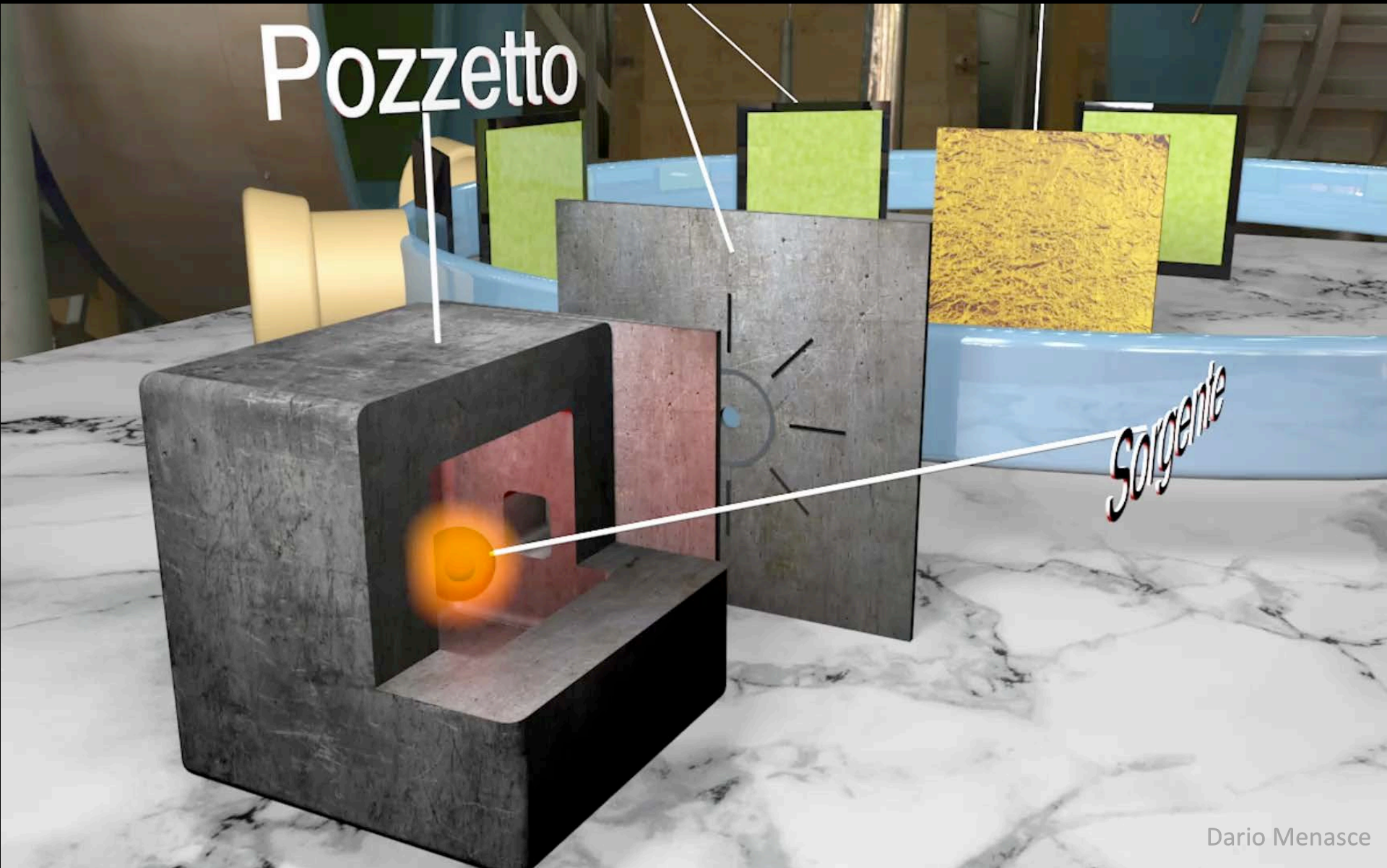
- Un browser per recuperare immagini (license -free) da web
- Un'applicativo per la manipolazione d'immagini (Photoshop, Gimp, ...)
- In qualche modo anche Powerpoint e altri permettono la costruzione di alcune semplici immagini, anche se in maniera molto limitata

# Animazioni

Qui il discorso si fa molto più complesso. Anzitutto occorre un software specifico di buon livello. Anche qui ne esistono svariate tipologie, dalle più semplici alle più complesse:

- iMove (fa parte del sistema operativo MAC)
- Premiere, Director, Final Cut, ...  
Si tratta di software molto complessi, capaci di creare effetti di complessità professionale: richiedono una lunga curva di apprendimento ma in compenso permettono la realizzazione di animazioni a livello di documentario.
- Al fianco di questi vi sono poi prodotti (usati dai registi per gli effetti speciali dei film) quali After Effect e Cinema 4D: con questi il livello raggiunge davvero il top della qualità e della capacità esplicativa. La curva di apprendimento è però davvero defatigante.
- Vediamo un paio di esempi:

# L'esperimento di Rutherford, Geiger e Marsden del 1913



Dario Menasce

# L'esperimento di Millikan



Dario Menasce (2019)

# Conclusioni

A mia esperienza diretta, l'insegnamento di materie complesse come la fisica può essere resa più accattivante maggiormente comprensibile mediante l'uso di moderne tecniche informatiche.

Concentrando all'inizio l'attenzione dei ragazzi su problematiche affascinanti li si aiuta a trovare in seguito la motivazione ad approfondire, dedicandosi in un secondo tempo agli aspetti di rigore apportati dall'uso della matematica.

Ho presentato qualche esempio di lezioni sviluppate lungo queste linee e ho cercato di evidenziare le potenzialità di questo tipo di approccio.

Ho infine speso qualche parola per indicare gli ingredienti necessari a confezionare questo tipo di proposta didattica.