

Viaggio nel Tempo della Fisica



LA FISICA INCONTRA LA CITTÀ

Ciclo di conferenze del Dipartimento di Fisica Edoardo Amaldi



MERCOLEDÌ 6 NOVEMBRE 2013 - ORE 20:30

VIAGGIO NEL TEMPO DELLA FISICA

PROF. VITTORIO LUBICZ | UNIVERSITÀ ROMA TRE

COMITATO ORGANIZZATORE: PROF. F. CERADINI, PROF. P. GALLO, PROF. G. MATT, PROF. M. A. RICCI

LA CONFERENZA SI TERRÀ PRESSO: UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE, AULA MAGNA DEL RETTORATO, VIA OSTIENSE 159 - ROMA

Gli abstract sono consultabili sul sito www.fis.uniroma3.it/fisincitta/

INGRESSO LIBERO

Contatto e-mail: fisincitta@fis.uniroma3.it

INGRESSO LIBERO

Sommario

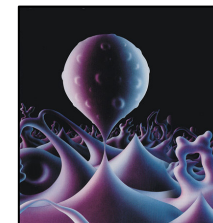
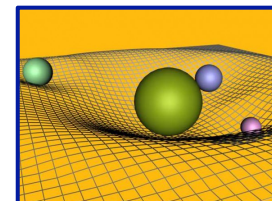
- Introduzione

- CAPITOLO 1:
Il tempo assoluto

- CAPITOLO 2:
Tempo e spazio elastici

- CAPITOLO 3:

... ..



Vittorio
Lubicz



Cosa è il tempo?



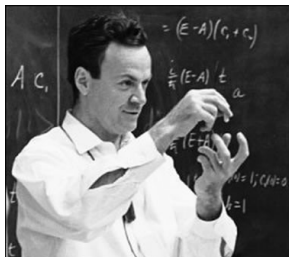
Tempo: un **periodo** misurato o misurabile durante il quale un'azione, processo o condizione esiste o continua

Periodo: una porzione di **tempo** determinata da qualche fenomeno ricorsivo



Sant'Agostino (IV-V secolo d.C.):

“Se non mi chiedono cosa sia il tempo lo so, ma se me lo chiedono non lo so”



Richard Feynman: Forse potremmo dire:

“Il tempo è ciò che accade quando non accade nient'altro”.

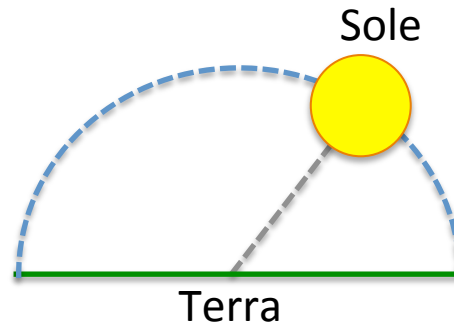
Ma questa definizione non ci porta molto lontano... Forse va bene accettare il fatto che il tempo è una delle cose che probabilmente non possiamo “definire” (nel senso del dizionario) e accontentarci di dire:

“Il tempo è ciò che già sappiamo essere: è quanto a lungo aspettiamo!”

Forse non sappiamo definire il tempo, ma i fisici lo sanno **misurare** meglio di qualunque altra cosa...

La misura del tempo

- Un modo per misurare il tempo consiste nell' **utilizzare come termine di raffronto un fenomeno** che si ripete in modo regolare, cioè **periodico**.



- Per verificare che il giorno abbia in media sempre la stessa durata occorre **confrontarlo con un altro fenomeno periodico**.



- Dal confronto **acquistiamo confidenza** che il giorno e la clessidra, o le oscillazioni del pendolo, hanno una

periodicità regolare, cioè **segnano intervalli di tempo successivi uguali tra loro**.

A rigore non abbiamo *provato* che ciascun fenomeno è realmente periodico. Tutto ciò che possiamo dire è che **una regolarità di un tipo si accorda bene con una regolarità di un altro tipo**.



La **misura del tempo** si basa dunque sulla ripetizione di qualche evento che ci **appare periodico**

- Il confronto con fenomeni periodici di durata minore ci consente anche di misurare più accuratamente **frazioni di un giorno**:



Ore,
minuti



Secondi

Un'osservazione di Tolomeo : il tempo solare e il tempo siderale:

- Per effetto della rivoluzione della Terra attorno al Sole, la durata media del **giorno solare** (24 ore) non coincide con il periodo di rotazione della Terra

La Terra compie una rivoluzione completa attorno al Sole (360°) in circa 365 giorni → circa 1° al giorno.

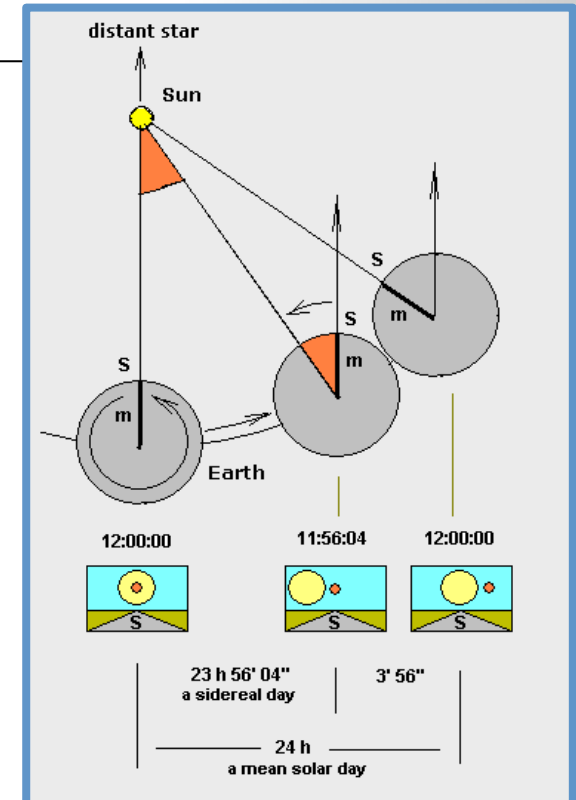
La durata di un **giorno solare** è maggiore di quella di un

giorno siderale di un tempo $\Delta t \approx \frac{1}{360}$ giorno = 4 minuti



- L' **Almagesto** di Tolomeo (150 d.C. circa):

Il modello geocentrico degli epicicli fornisce previsioni astronomiche accurate se il moto del Sole, della Luna e dei pianeti è assunto uniforme relativamente al **tempo siderale**.

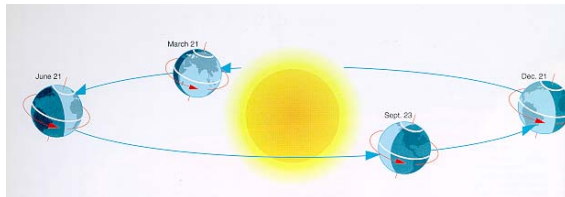


L'unità di misura del tempo: il secondo

- Storicamente: **1 giorno solare medio** = $24 \times 60 \times 60$ secondi = **86.400 secondi**

Ma il **periodo di rotazione della Terra** cresce lievemente nel tempo, a causa delle interazioni gravitazionali della Terra con la Luna e gli altri pianeti.

Oggi **il giorno solare medio supera le 24 ore di alcune frazioni di secondo**



- Dal 1956, si è utilizzato il **periodo di rivoluzione della Terra attorno al Sole**:

1 anno = 365,2564... **giorni solari medi**

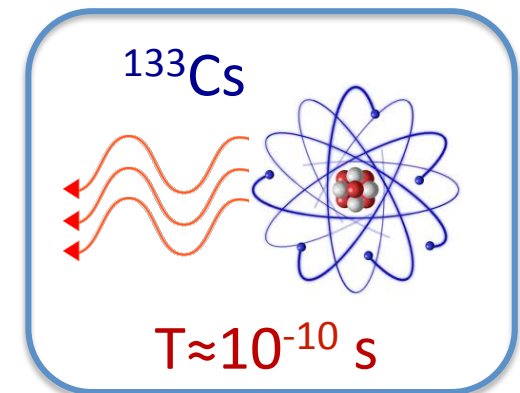
Ma anche questo non è sufficientemente. Varia di circa **1.25 μ s l'anno** per effetto della variazione di massa del Sole.

Il tempo atomico (dal 1972)

- Oggi il secondo è definito in termini di un “pendolo” naturale:

1 secondo = 9 192 631 770 **periodi**

della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133



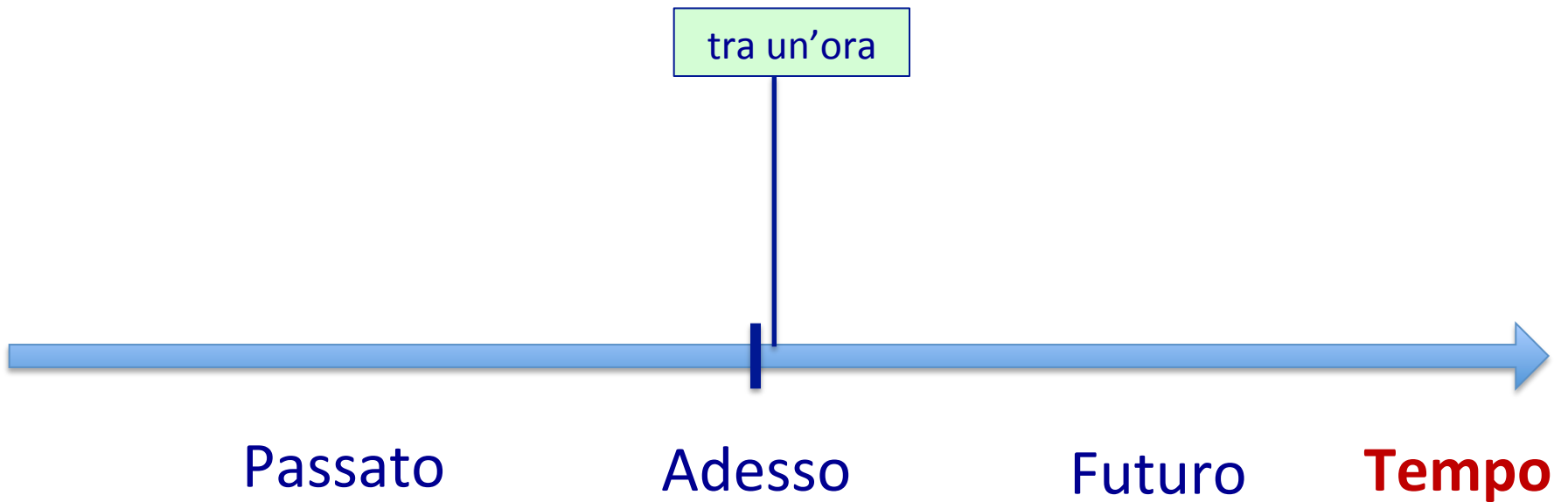
CAPITOLO 1

Il tempo assoluto

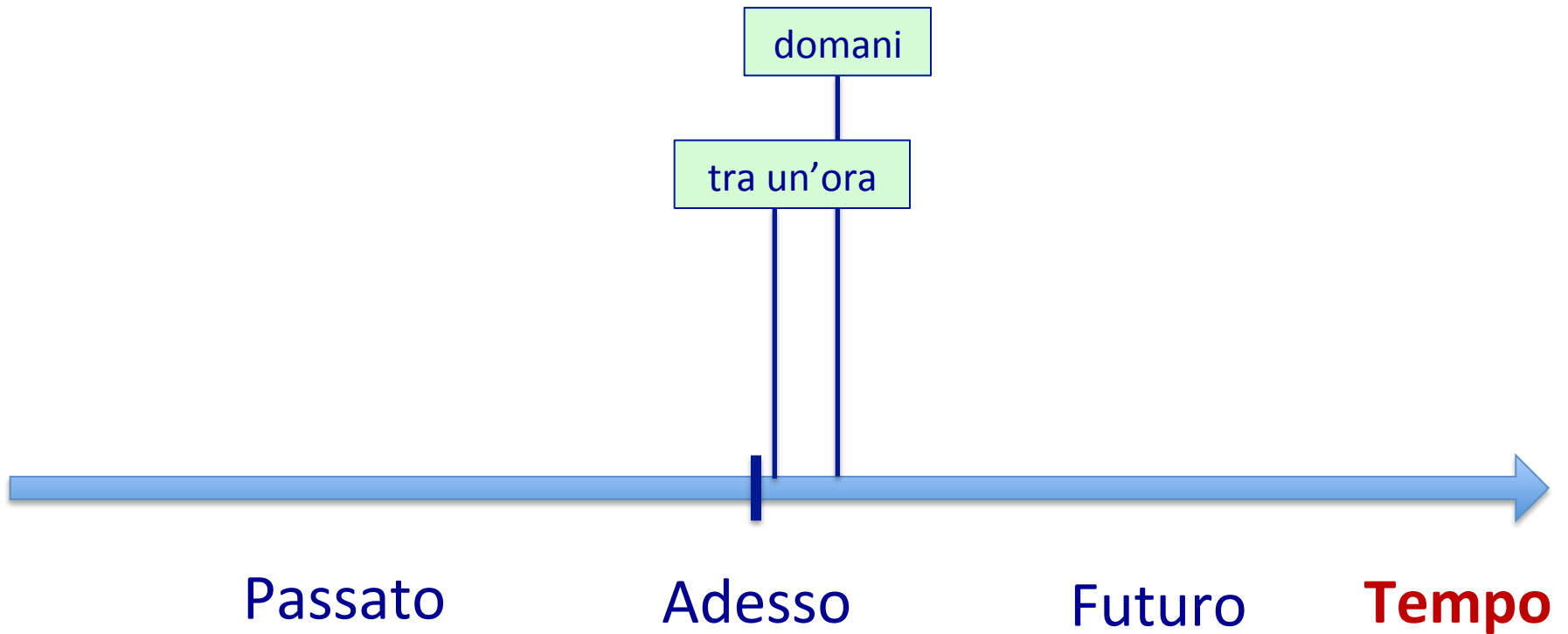
La linea del tempo



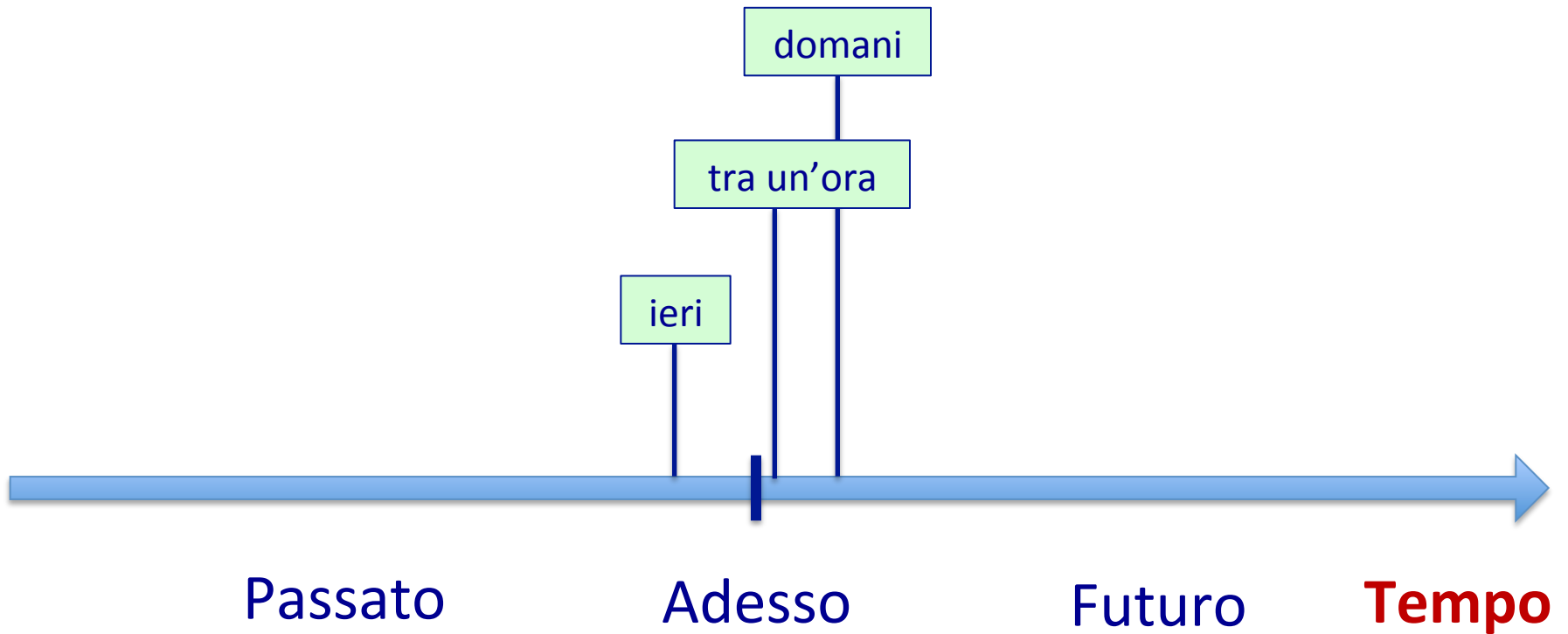
La linea del tempo



La linea del tempo



La linea del tempo



La linea del tempo



domani

tra un'ora

ieri

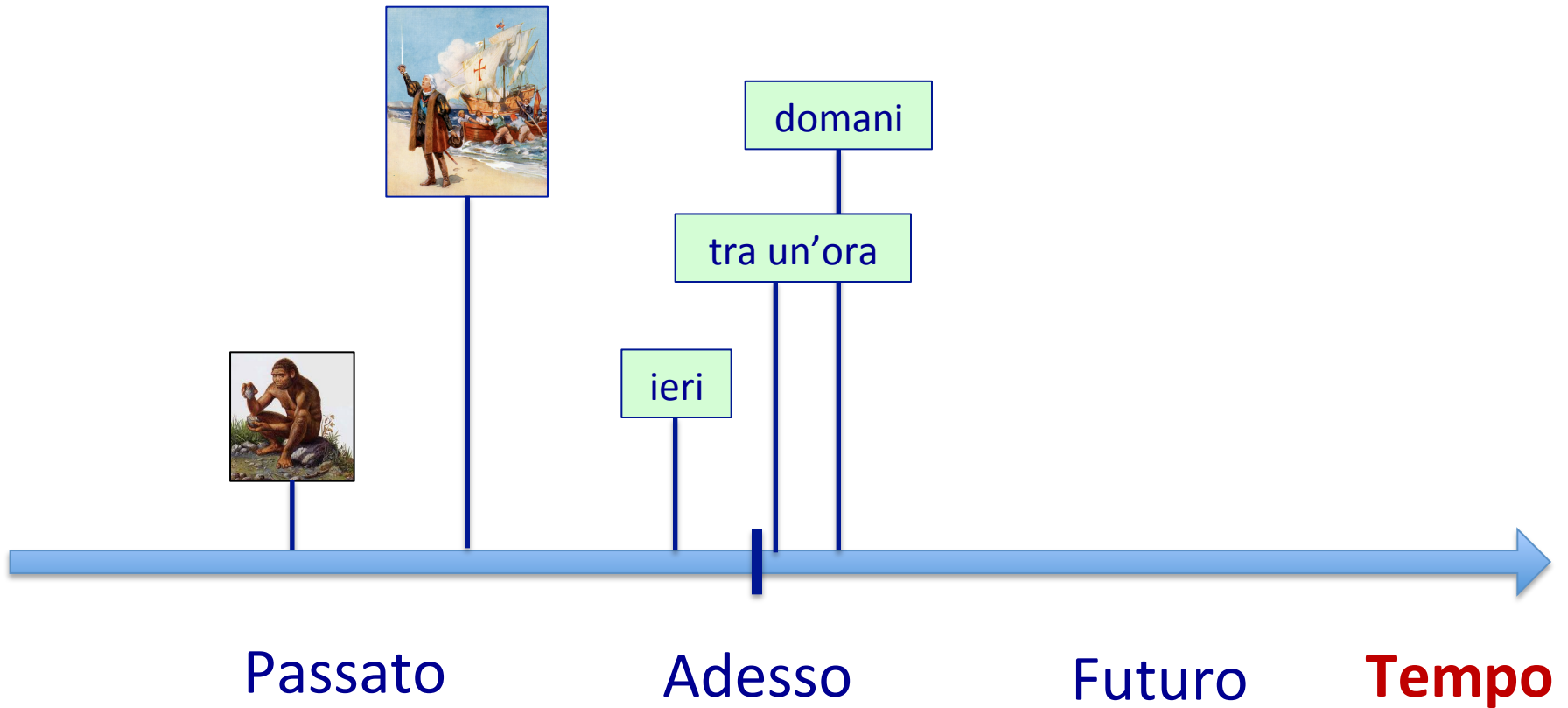
Passato

Adesso

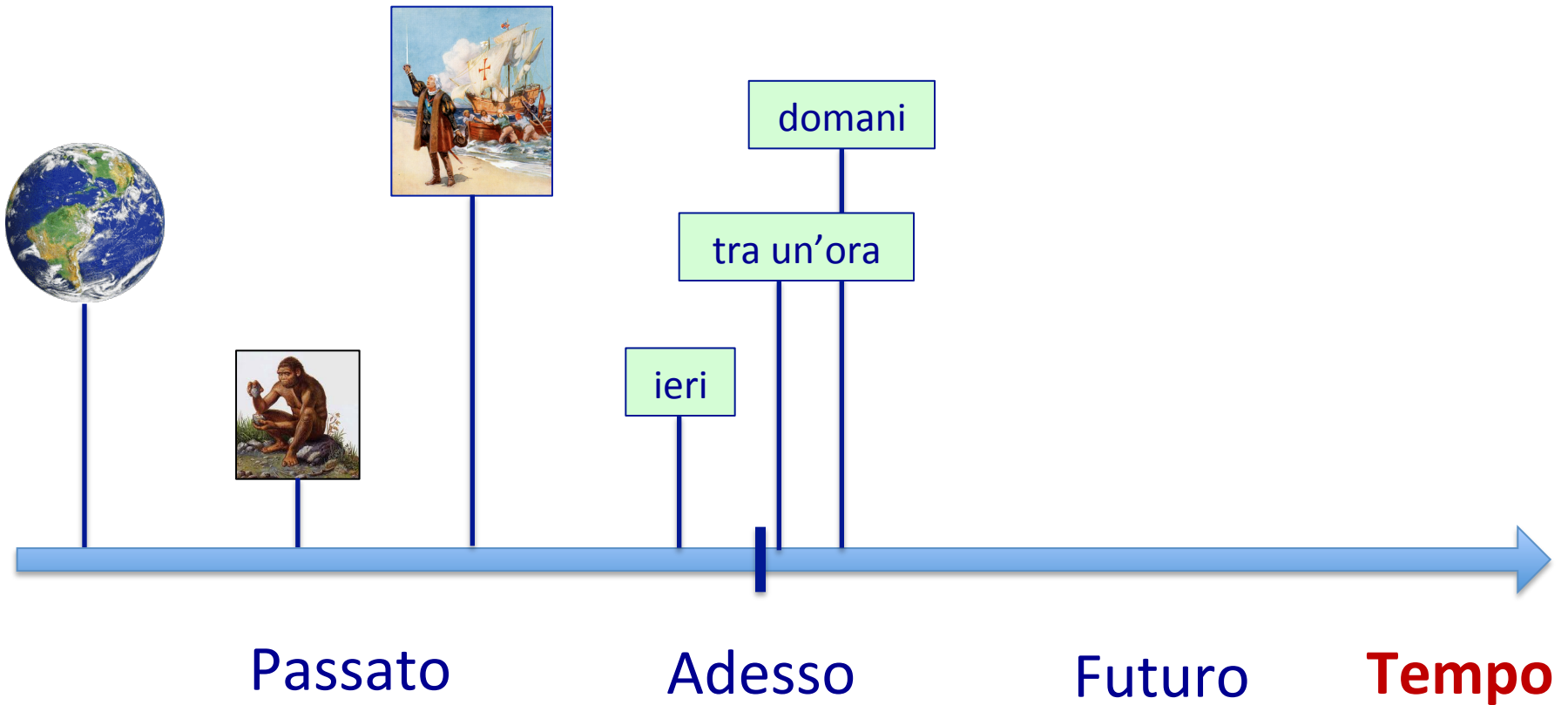
Futuro

Tempo

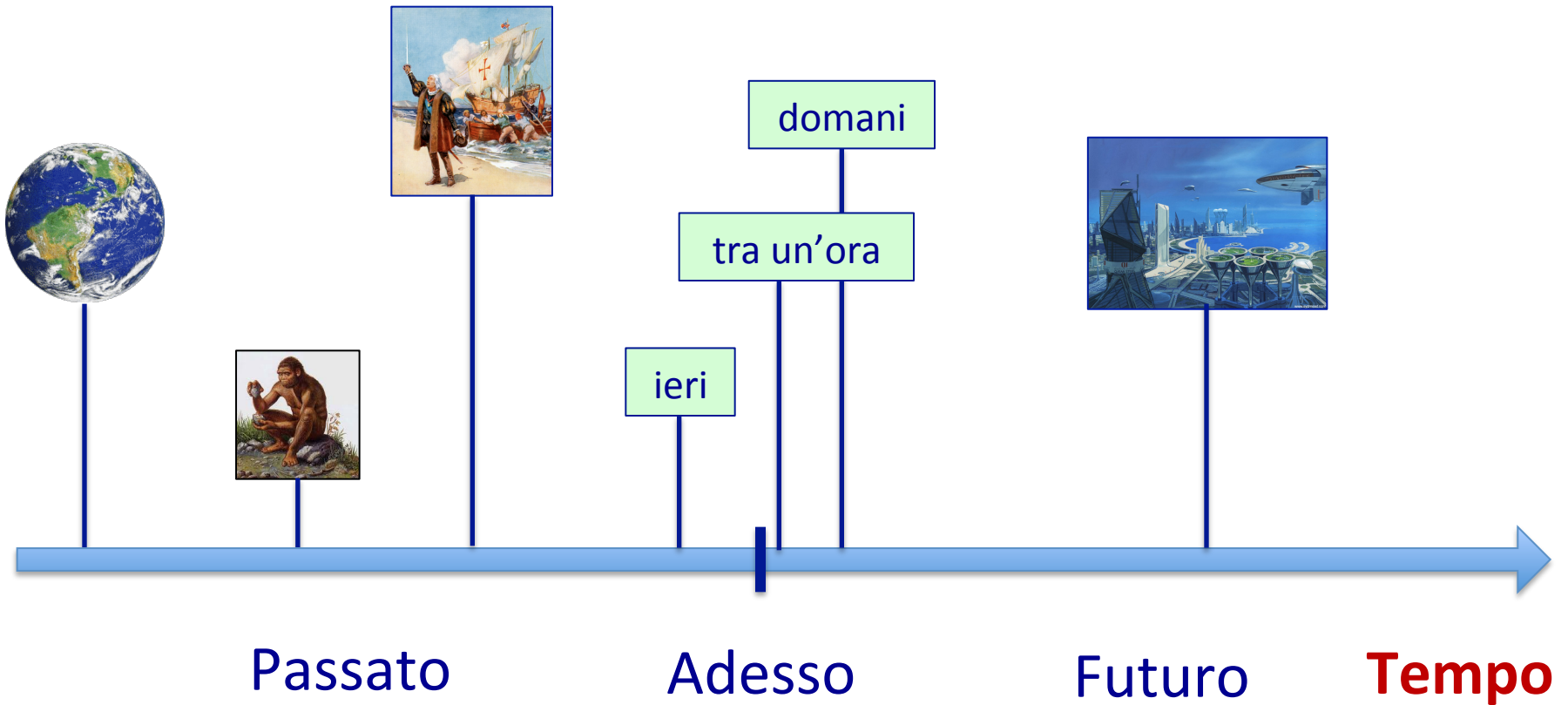
La linea del tempo



La linea del tempo

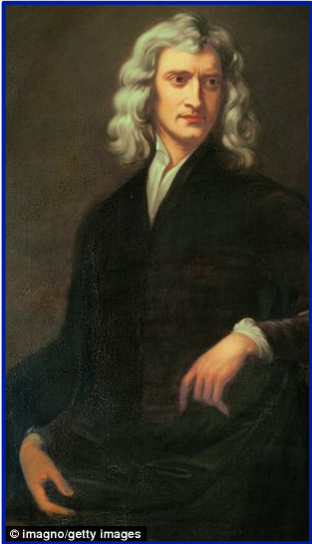


La linea del tempo



Il tempo - e lo spazio - assoluti di Newton

Le leggi della meccanica richiedono una definizione di **spazio e tempo**

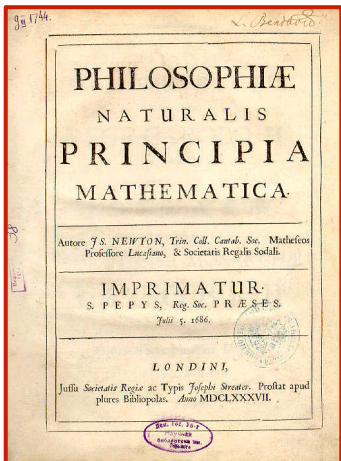
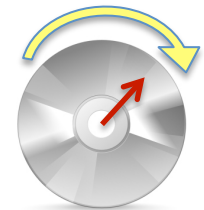


Es.: Legge di inerzia
(1^a Legge del moto)

“Un corpo mantiene il proprio stato di **quiete** o di **moto rettilineo uniforme**, finché una forza non agisce su di esso”

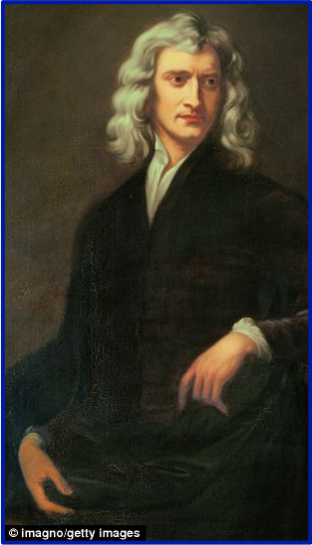
- Il **moto uniforme**, dovuto all'inerzia, è definito rispetto ad uno scorrere del **tempo**. Quale tempo? Se si assumesse, ad esempio, come unità di tempo il periodo di rotazione della Terra, la legge di inerzia non sarebbe esattamente valida, per la presenza delle irregolarità nel moto della Terra.

- Analogamente: rispetto a quale **spazio (sistema di riferimento)** è definito lo **stato di quiete o di moto**? E rispetto a quale spazio è definito il **moto lungo una linea retta**?



Newton perviene alla conclusione che esistono
un tempo assoluto ed uno spazio assoluto

Il tempo assoluto

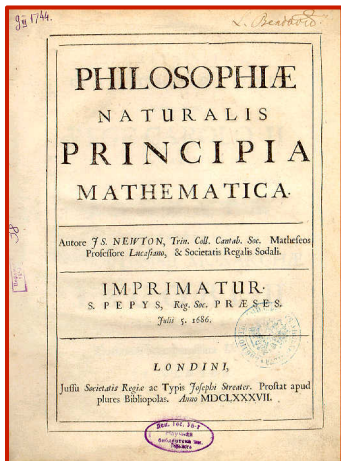


“Il **tempo assoluto**, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato durata.”

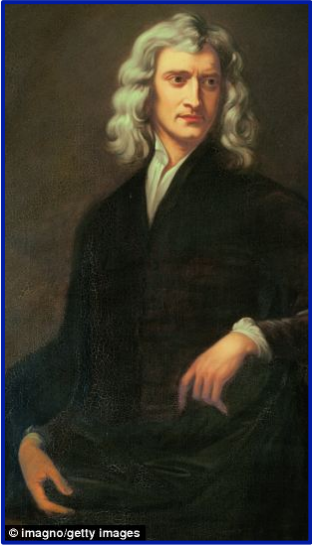
“Il **tempo relativo**, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l'ora, il giorno, il mese, l'anno...

Infatti i giorni naturali, che di consueto sono ritenuti uguali, e sono usati come misura del tempo, sono inuguali. Gli astronomi correggono questa inuguaglianza affinché, con un tempo più vero, possano misurare i moti celesti.

È possibile che non vi sia movimento talmente uniforme per mezzo del quale si possa misurare accuratamente il tempo. Tutti i movimenti possono essere accelerati o ritardati, ma il flusso del tempo assoluto non può essere mutato.”



Lo spazio assoluto

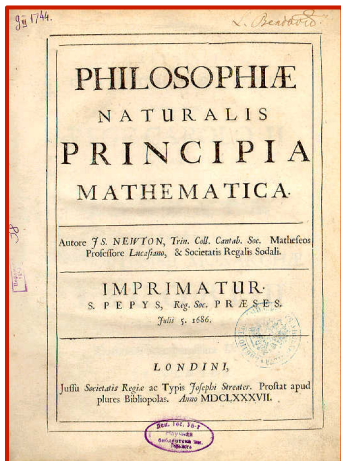


Lo **spazio assoluto**, per sua natura senza relazione ad alcunché d'esterno, rimane sempre uguale e immobile.

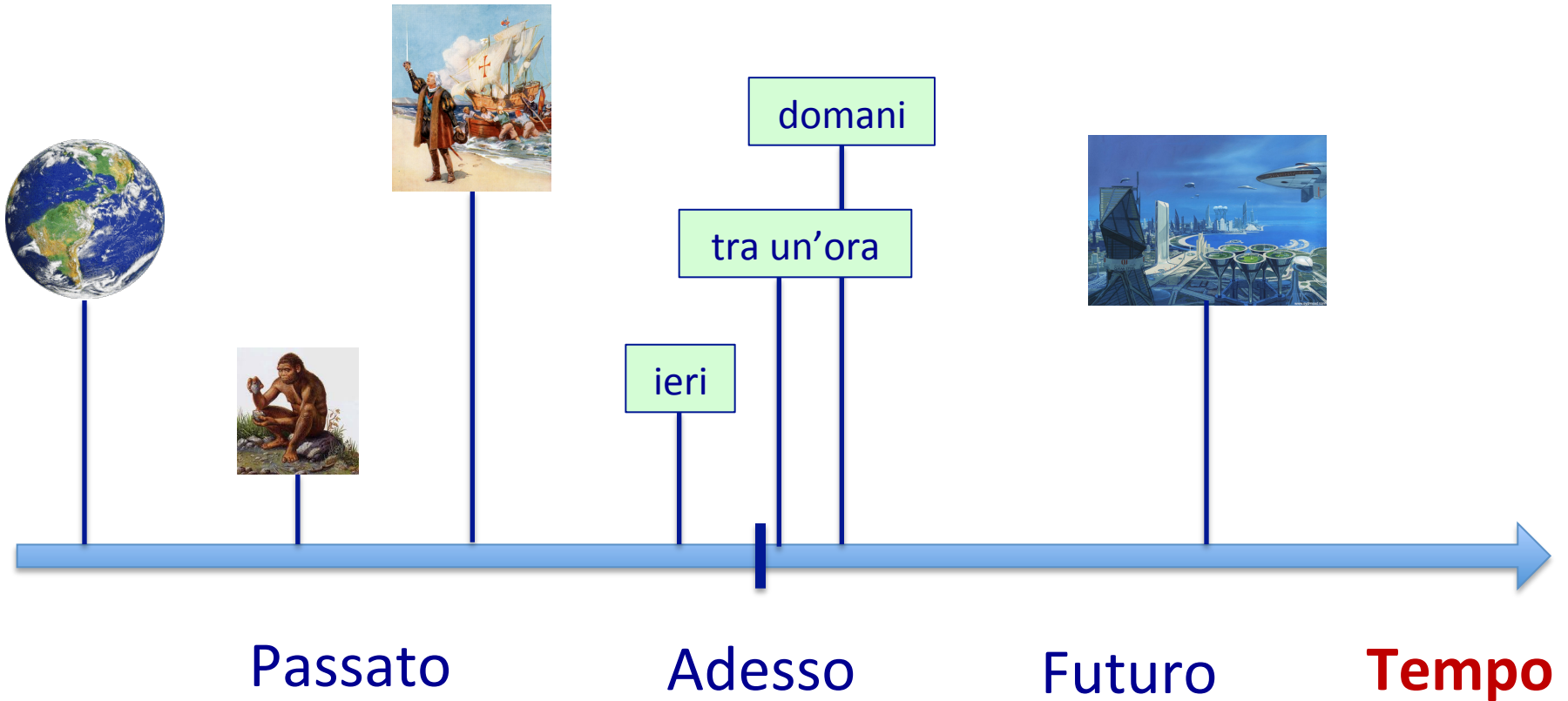
Lo **spazio relativo** è una dimensione mobile o misura dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile...

Così, invece dei luoghi e dei moti assoluti usiamo i relativi; né ciò riesce scomodo nelle cose umane: ma nella filosofia occorre astrarre dai sensi.

Potrebbe anche darsi che non vi sia alcun corpo in quiete al quale possano venire riferiti sia i luoghi che i moti...



La linea del tempo

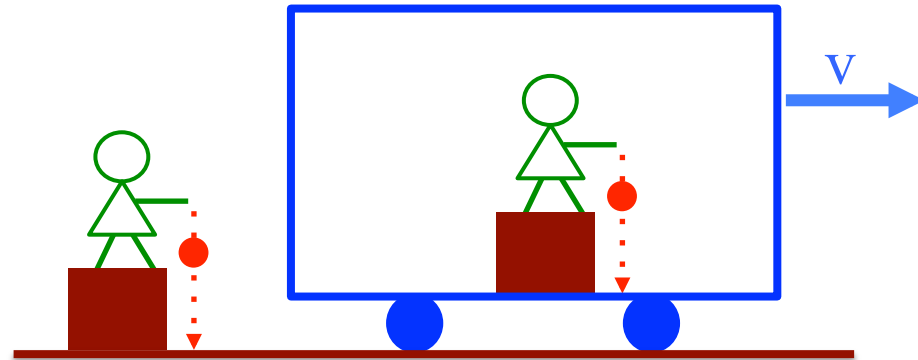
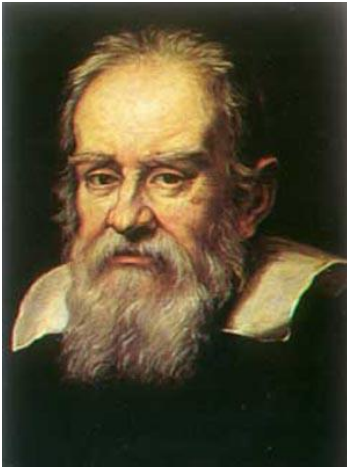


Ma questa rappresentazione
del tempo è sbagliata...

CAPITOLO 2

I. Tempo e spazio elastici

Il principio di relatività galileiana



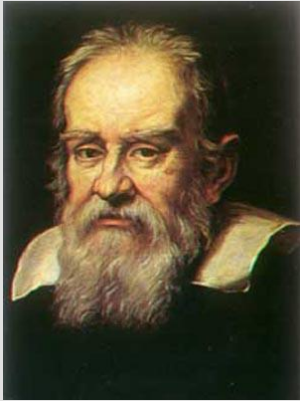
- Due enunciati tra loro equivalenti:

- I fenomeni meccanici si svolgono in modo identico in due sistemi di riferimento in moto relativo rettilineo uniforme (“sistemi inerziali”)

- Non è possibile rilevare con un esperimento di meccanica, effettuato all’interno del sistema di riferimento, il moto rettilineo uniforme del sistema stesso

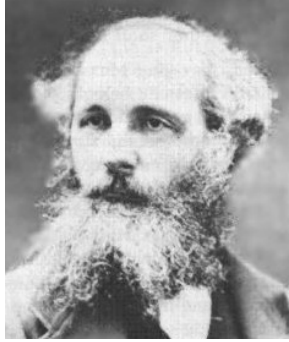
Lo **spazio assoluto**, *sempre uguale e immobile*, non è osservabile da alcun esperimento. Due diversi sistemi di riferimento inerziali possono entrambi considerarsi legittimamente in quiete rispetto allo spazio assoluto. Lo spazio assoluto, dunque, **non ha realtà fisica**.

Il principio di relatività galileiana



“Rinserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; suspendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto... Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma.”





Le leggi dell'elettromagnetismo

J. C. Maxwell
(1865)

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0 \quad , \quad \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

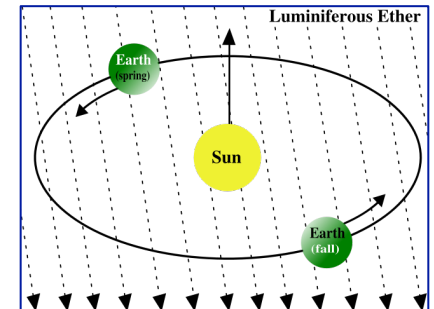
Equazioni delle onde

$c \approx 300.000 \text{ Km/s}$

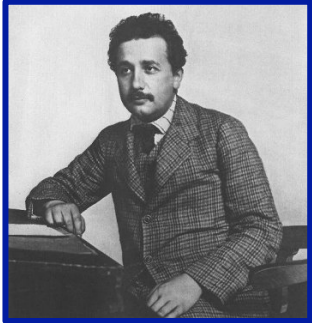
Ma non specifica in quale sistema di riferimento !!

- Se la teoria di Maxwell è corretta esistono due possibilità:
 - Le equazioni di Maxwell sono valide in un sistema di riferimento particolare
 - La velocità della luce nel vuoto è la stessa in tutti i sistemi di riferimento
- La prima possibilità sembrava la più naturale. Le altre onde conosciute (onde d'acqua, onde sonore, ...) sono perturbazioni che si propagano in un mezzo. Si riteneva che anche le onde elettromagnetiche si dovessero propagare in un mezzo, l'etere. La velocità c rappresenterebbe allora la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel sistema di riferimento dell'etere.

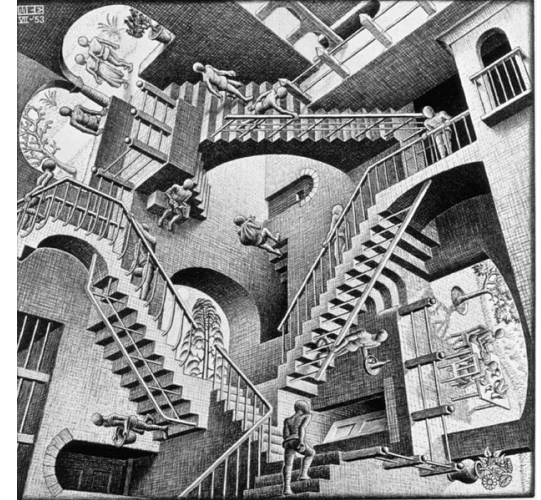
● Ma nel 1887, un famoso esperimento condotto da Michelson e Morley escluse questa possibilità.



La teoria della relatività



Albert Einstein, 1905



2 assunzioni:

1 Tutti i fenomeni fisici si svolgono in modo identico in due sistemi di riferimento in moto relativo rettilineo uniforme (ossia inerziali).

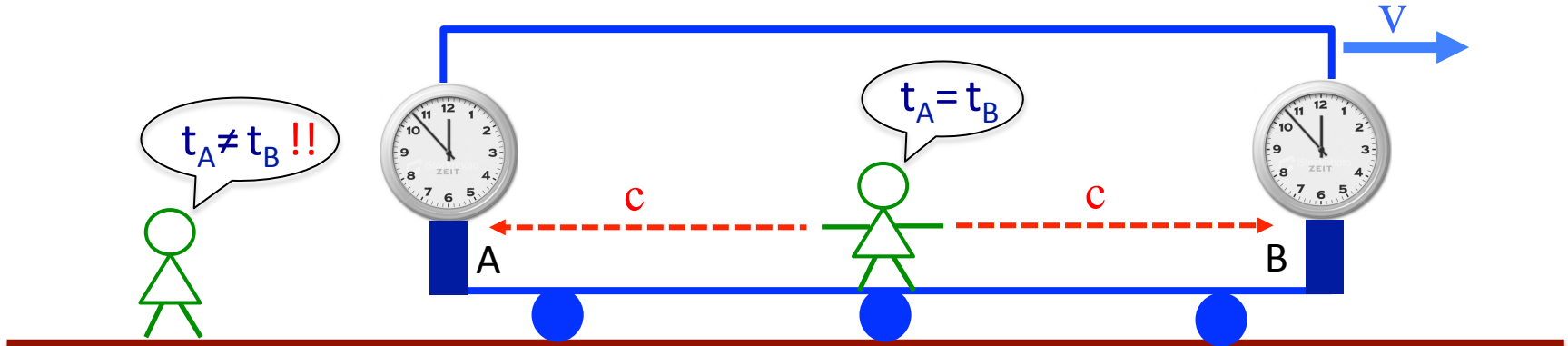
È il **principio di relatività** di Galileo e Newton, la cui validità è estesa non solo ai fenomeni meccanici ma a tutti i fenomeni fisici, inclusi quelli elettromagnetici

2 La velocità della luce nel vuoto c è la stessa in ogni sistema di riferimento

È un **principio proprio della relatività Einsteiniana**, ispirato dalla teoria di Maxwell dell'elettromagnetismo. Comporta una **profonda revisione dei concetti di spazio e tempo** ed una modifica della meccanica classica.

Simultaneità

- I due principi alla base della teoria della relatività richiedono di abbandonare il significato *assoluto* del concetto di simultaneità



- Per l'osservatore sul treno i segnali luminosi raggiungono i punti A e B nello stesso istante. Per questo osservatore i due eventi sono simultanei.

Se così non fosse, l'osservatore potrebbe dedurre di essere in movimento, in violazione con il principio di relatività.

- Per l'osservatore al binario il segnale luminoso giunge prima al punto A, che nel frattempo si è avvicinato e poi al punto B, che nel frattempo si è allontanato

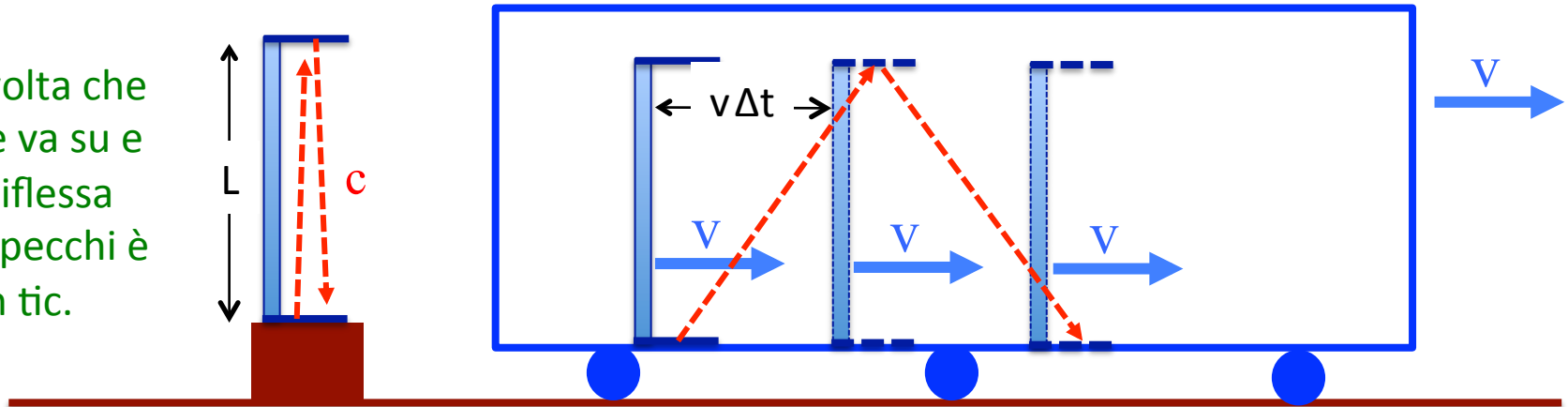
$$t_B - t_A = \frac{Lv/c^2}{1 - v^2/c^2}$$

La dilatazione del tempo

La teoria della relatività implica che **un qualunque orologio in movimento appare più lento ad un osservatore fermo**

- Consideriamo un tipo molto semplice di orologio, un “orologio a fotoni”:

Ogni volta che la luce va su e giù riflessa dagli specchi è un tic.



Orologio in quiete: Δt_0

Orologio in moto: Δt

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

Il tempo scandito dall'orologio in moto **scorre più lentamente** del tempo scandito dall'orologio fermo

Se $v = 1/1000 c$ → 1 ora si “allunga” di 1.8 millisecondi

La dilatazione del tempo

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

- Se questo risultato vale per l'orologio a fotoni, allora deve valere anche per qualunque altro tipo di orologio. Se così non fosse, infatti, si potrebbero mettere sul treno in movimento un orologio a fotoni ed un orologio di altro tipo.

Dalla discrepanza tra i due orologi si potrebbe poi determinare la velocità del treno, in violazione del principio di relatività.

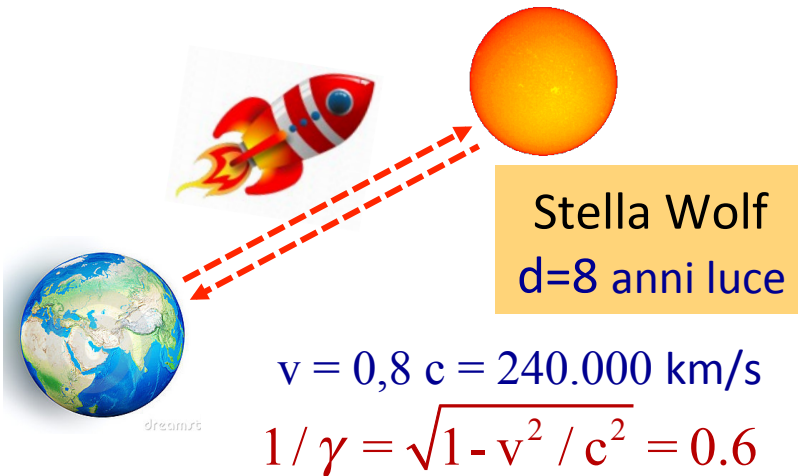
- Poiché tutti gli orologi sul treno scorrono più lentamente, poiché una qualunque misura del tempo indica una durata più lunga, dobbiamo concludere che il tempo stesso scorre più lentamente nel sistema in moto.

- Per un uomo sul treno un qualunque fenomeno, la frequenza del suo battito cardiaco, la velocità dei suoi pensieri, il tempo che impiega il suo sigaro a consumarsi, il tempo con cui cresce e invecchia, la velocità con cui si sviluppa un cancro, tutti questi fenomeni devono essere rallentati nella stessa misura, perché l'uomo non può realizzare di essere in movimento.



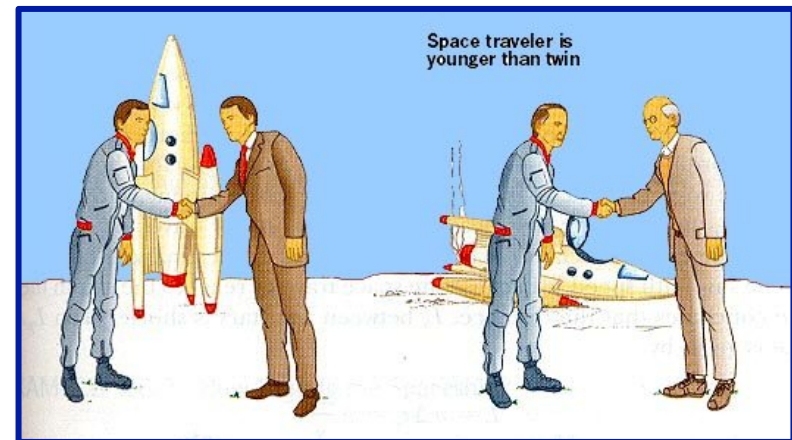
La dilatazione del tempo

Il “paradosso” dei gemelli



- Sull'**astronave**, il tempo scorre al **60%** del tempo della Terra, quindi all'arrivo, secondo il calendario dell' astronave sono trascorsi **12 anni**.

- Nel **sistema di riferimento della Terra**, l'astronave percorre 8 anni luce in **10 anni** nel viaggio di andata, e ne impiega altrettanti nel viaggio di ritorno. Essa ritorna quindi sulla Terra nell' **dopo 20 anni**.



- Il fratello rimasto sulla Terra è perciò, dopo il viaggio, di **8 anni più vecchio** del suo gemello.

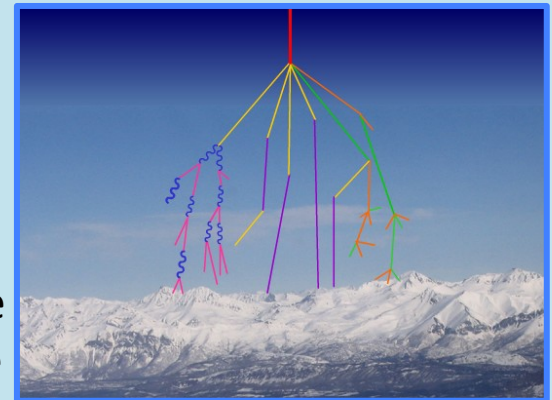
La dilatazione del tempo

Il “paradosso” dei gemelli è verificato sperimentalmente

- **Hafele e Keating, 1971** Quattro orologi atomici al cesio hanno volato intorno al mondo su 2 voli di linea commerciali, uno diretto verso est ed uno verso ovest. Rispetto all’orologio atomico di riferimento a terra, gli orologi in volo hanno perso circa **59 nanosecondi** durante il viaggio in direzione est e guadagnato circa **273 nanosecondi** durante il viaggio in direzione ovest, in perfetto accordo con le previsioni della teoria della relatività.



- I **muoni** sono particelle che si disintegrano spontaneamente dopo una **vita media di circa 2.2×10^{-6} secondi**. Alcuni muoni giungono sulla Terra nei raggi cosmici, prodotti all’inizio dell’atmosfera a circa **10 km di altezza**. Seppur viaggiando ad una velocità prossima a quella della luce, data la loro vita media i **muoni non potrebbero percorrere più di circa 660 metri**. Eppure molti muoni vengono rivelati al suolo, in perfetto accordo con le previsioni relativistiche sulla **dilatazione del tempo**.

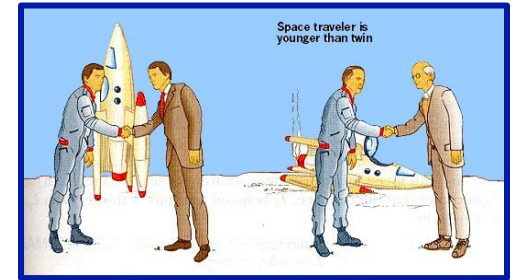


I viaggi nel tempo

- Il fenomeno della dilatazione dei tempi, come illustrato nell'esempio dei gemelli, rende possibile il

VIAGGIO NEL FUTURO

- Contrariamente a quanto spesso creduto, le difficoltà sono "solo" di carattere tecnologico.
- Consideriamo il seguente viaggio con accelerazione costante g :



Betelgeuse
 $d=600$ anni luce

- Dopo circa **6 anni** abbiamo percorso metà del tragitto e raggiunto una velocità $v=0.999995 c$. Sulla Terra sono trascorsi **300 anni**.

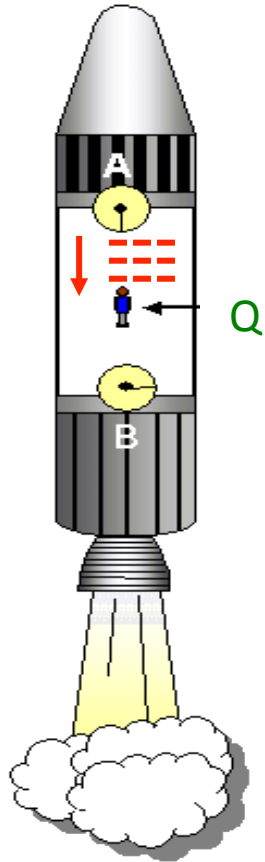
- Dopo altri **6 anni** ci fermiamo su Betelgeuse. Sulla Terra sono trascorsi **600 anni**.

- Il viaggio di ritorno è analogo. Quando rientriamo sulla Terra il viaggio è durato **24 anni** ma sulla Terra sono trascorsi **1200 anni !!**

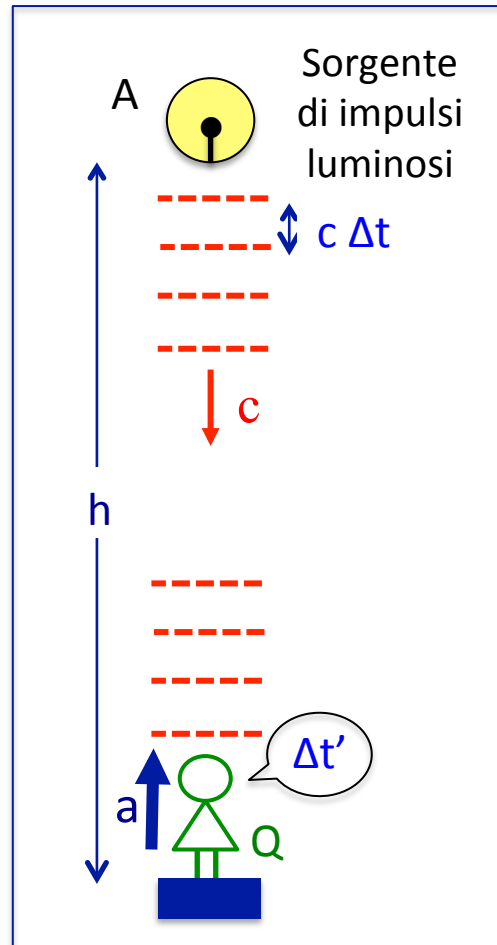
E I VIAGGI NEL PASSATO ?

II. Tempo, spazio e materia

Il tempo in un sistema accelerato



accelerazione a



- L'orologio A emette impulsi luminosi ogni intervallo Δt
- Quando gli impulsi raggiungono l'osservatore Q, questo ha acquistato una velocità $v = at = ah/c$
- Q incontra pertanto i fronti d'onda separati da un intervallo $\Delta t'$ con

$$c\Delta t = c\Delta t' + v\Delta t' = c(1 + v/c)\Delta t'$$



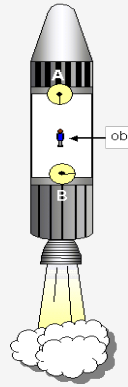
$$\Delta t = \left(1 + \frac{ah}{c^2} \right) \Delta t'$$

Per l'osservatore il tempo più in alto scorre più velocemente

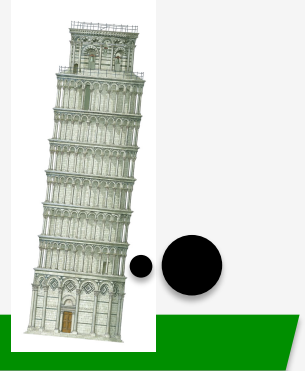
Se $a=10 \text{ m/s}^2$, $h=10 \text{ m} \rightarrow ah/c^2 \approx 10^{-15} = 1 \text{ milionesimo di miliardesimo}$

Il principio di equivalenza

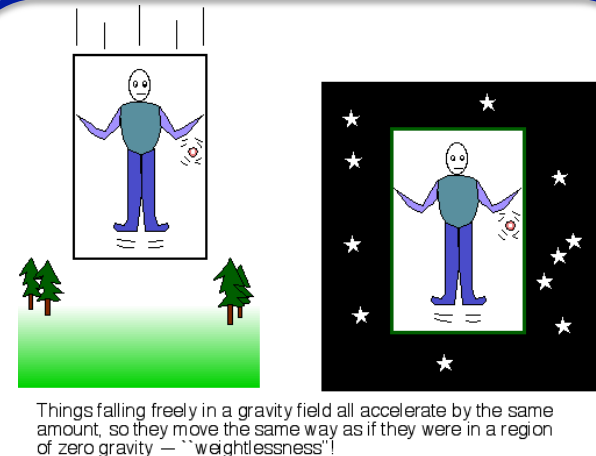
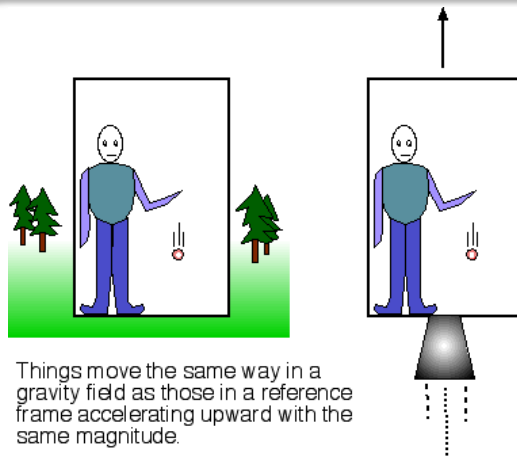
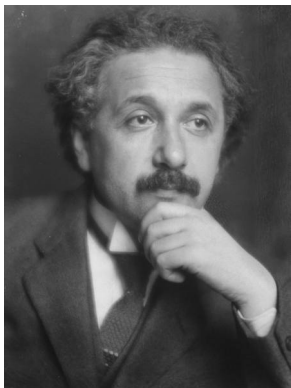
- In un sistema di riferimento accelerato tutti i corpi hanno la stessa accelerazione



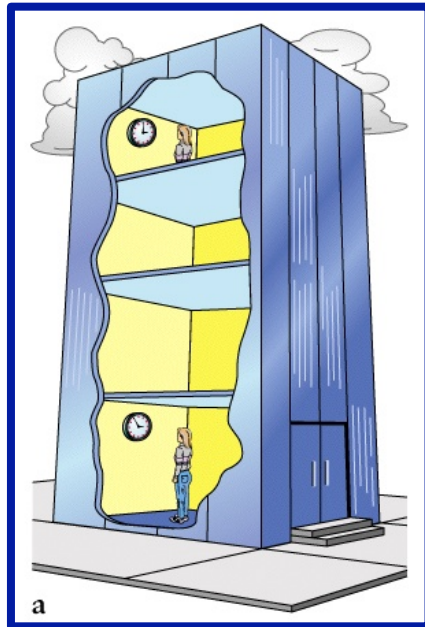
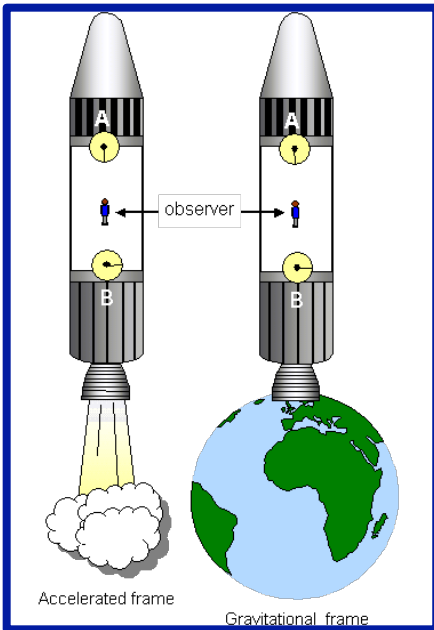
- Anche in un campo gravitazionale i corpi hanno tutti la stessa accelerazione indipendentemente dal loro peso



A. Einstein, 1916: Nessun esperimento può distinguere se ci si trova in un sistema di riferimento non inerziale oppure in un campo gravitazionale



La dilatazione del tempo gravitazionale



- Il fenomeno della dilatazione del tempo, che abbiamo discusso per un sistema accelerato, vale allora anche in un campo gravitazionale:

$$\Delta t(h) = \left(1 + \frac{gh}{c^2} \right) \Delta t(0)$$

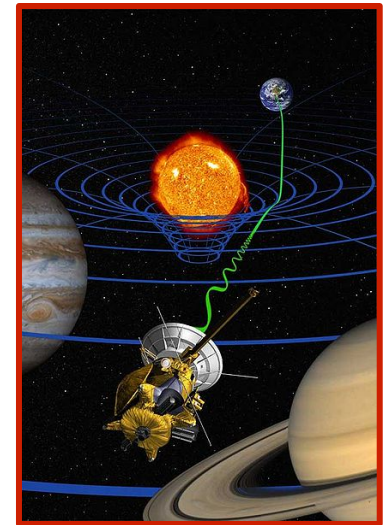
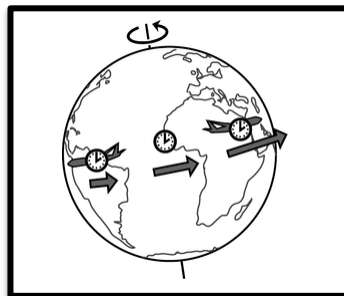
Il tempo scorre più lentamente "in basso", dove il campo gravitazionale è più intenso

- Il fenomeno è verificato in numerosi esperimenti:

- Negli orologi atomici in volo si deve tenere in conto dell'altezza oltre che della velocità.

- Anche nel GPS si deve tenere in conto sia della velocità relativa che dell'altezza dei satelliti

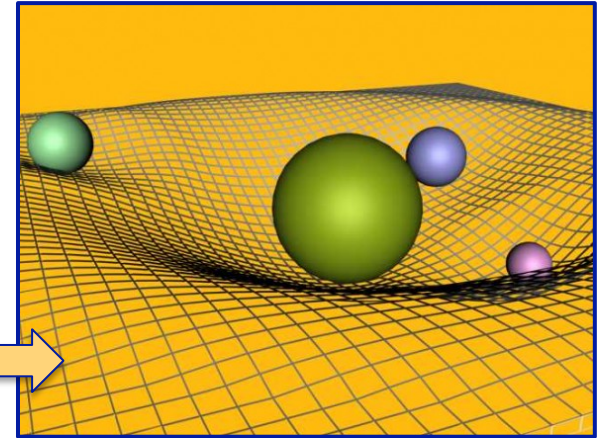
- I segnali radio inviati dalle sonde spaziali verso la Terra arrivano in ritardo quando la loro traiettoria passa vicino al Sole



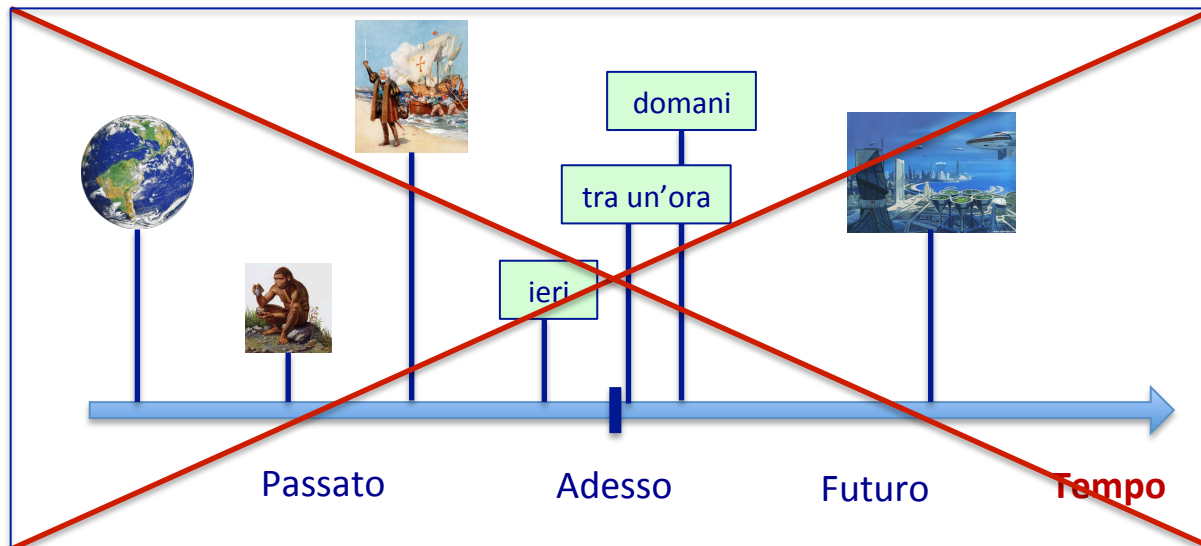
Spazio, tempo e materia

- Ogni orologio segna il proprio tempo, a seconda del cammino che percorre. Non esiste una sola linea del tempo, la stessa per tutti, ma infinite linee, una per ciascun orologio.

NON UNA LINEA, DUNQUE, MA UNA “TELA”.



- Le linee del tempo sono curve, perché lo scorrere del tempo non è uniforme ma influenzato dalla materia circostante
- Anche la geometria dello spazio è curva e varia con il tempo



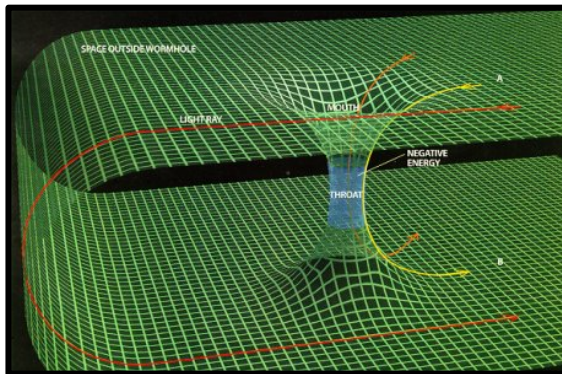
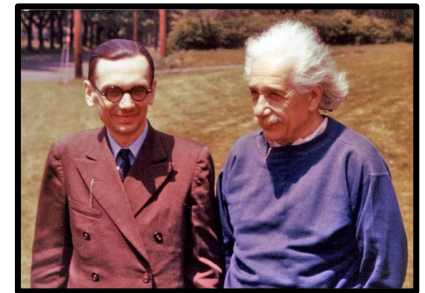
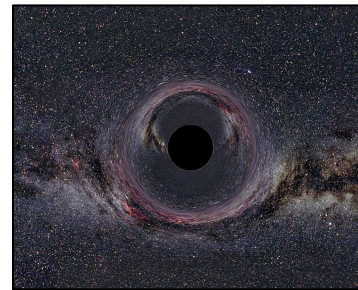
I viaggi nel tempo (2)



- Se la teoria della relatività pone un limite teorico alle velocità, che non possono superare quella della luce nel vuoto, **non vi sono limiti all'intensità di un campo gravitazionale e, quindi, alla deformazione dello spazio-tempo.**

- Nel 1949 **Kurt Godel** trovò una soluzione esatta delle equazioni di Einstein per un **universo in rotazione.**

La soluzione di Godel prevede l'esistenza di **curve temporali chiuse.**



- Oggi sono note altre **soluzioni della relatività generale**, per esempio **wormhole**, che potrebbero forse consentire viaggi nel tempo. Ma non sappiamo se queste soluzioni sono “fisiche”.

● I viaggi nel tempo passato danno origine a ben noti **paradossi**: il “paradosso del nonno”, il “paradosso della conoscenza”, ...

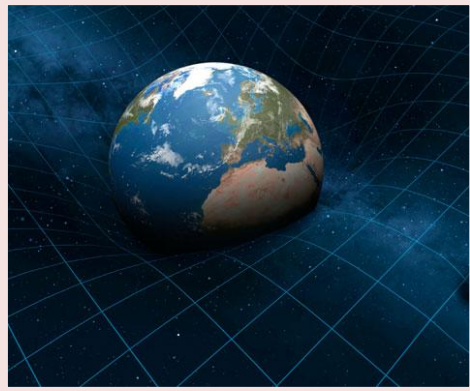
- Sono state proposte alcune **soluzioni**: la “**censura cosmica**”, i “**multimondi**”, ma ...

CAPITOLO 3

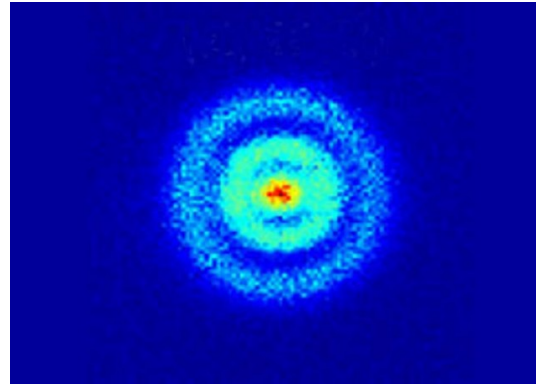
... ..

- Due fondamentali teorie nel secolo scorso hanno cambiato profondamente la nostra conoscenza del mondo:

Teoria della relatività



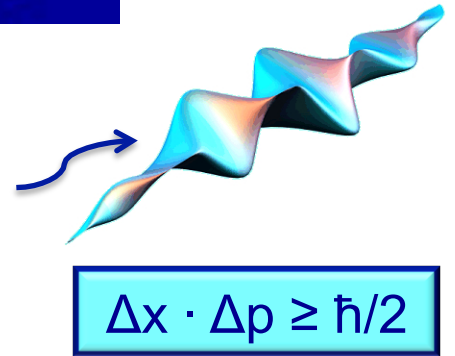
Meccanica quantistica



- Le due teorie sono incompatibili. Ad esempio:

- Il **principio di indeterminazione** nella MQ implica che una particella in moto non segue una traiettoria, ossia non ha una **posizione** e una **velocità** simultaneamente determinate.

➔ Qual è il **campo gravitazionale** generato da una particella?



$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$$

Le fluttuazioni quantistiche della posizione implicano **fluttuazioni del campo gravitazionale**, ossia **fluttuazioni quantistiche dello spazio-tempo**.

Una teoria consistente della **gravità quantistica** non è stata ancora formulata. Sappiamo tuttavia che in questo ambito **la nostra concezione dello spazio e del tempo** deve essere **ulteriormente modificata**. E possiamo anticiparne alcuni aspetti.

- 1 Risale a Planck l'osservazione che con tre costanti fondamentali della fisica è possibile definire una lunghezza:

La lunghezza di Planck

$$L_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 10^{-33} \text{ cm}$$



NOTA: Se s'ingrandisse un solo atomo fino a renderlo uguale all'intero Sistema solare e proporzionalmente s'ingrandisse la lunghezza di Planck, questa resterebbe comunque ancora 100 volte più piccola dell'atomo di partenza

G → Gravità \hbar → Meccanica
 c → Relatività Quantistica

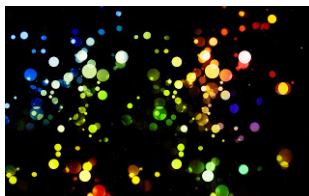
I fenomeni fisici la cui comprensione necessita di una teoria della gravità quantistica sono contraddistinti da scale di lunghezze vicine alla scala di Planck (big bang, buchi neri, ...)

- 2 La meccanica quantistica ci insegna che i campi fisici hanno una struttura granulare a piccola scala e una dinamica che non è deterministica, bensì probabilistica

Campo elettromagnetico



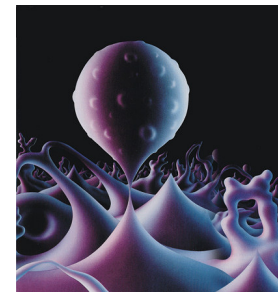
Fotoni

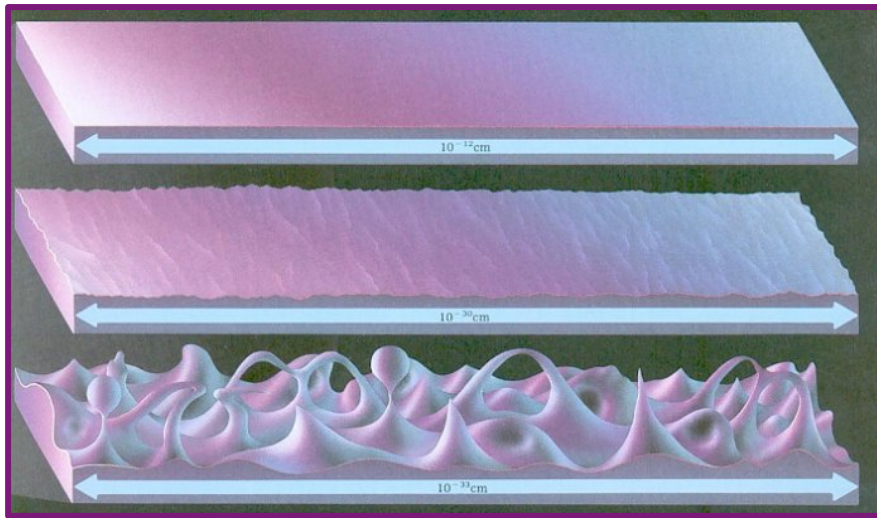


Campo gravitazionale /
Spazio - tempo



“Atomi” di
spazio-tempo





- Se guardato a diverse scale, dunque, lo spazio-tempo ci dovrebbe apparire come
 ← nella figura
- A livello microscopico è probabilmente più utile pensare ad un'unica entità fondamentale:

il campo gravitazionale quantistico

Le nozioni di spazio come un contenitore del mondo e di tempo come un flusso nel corso del quale avviene il cambiamento potrebbero essere concetti utili solo nell'ambito di una descrizione approssimata della realtà macroscopica.

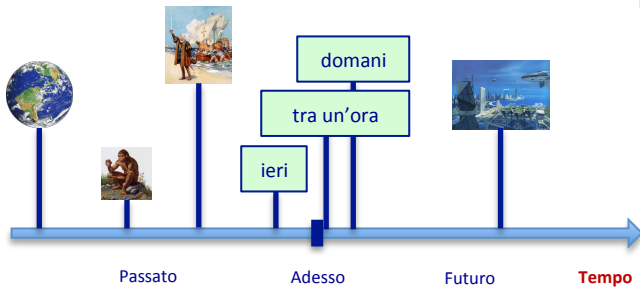
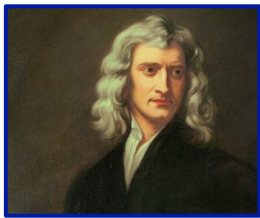
In alcuni approcci alla gravità quantistica, le equazioni fondamentali non contengono affatto il tempo. Dunque forse il tempo non esiste a livello fondamentale, e viene da noi solo percepito a livello macroscopico



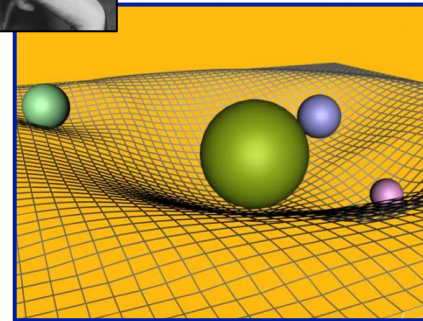
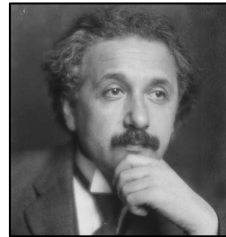
Viaggio nel Tempo della Fisica



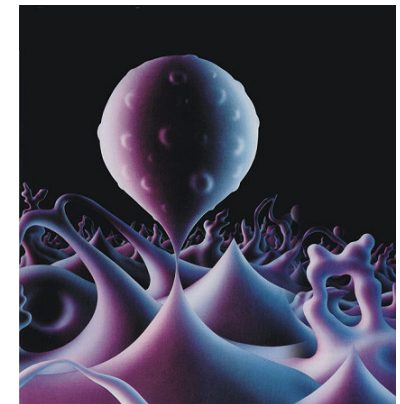
CAPITOLO 1: Il tempo assoluto



CAPITOLO 2: Il tempo elastico



CAPITOLO 3: Il campo gravitazionale quantistico



- Questa storia, con i suoi capitoli, è rappresentativa di **come procede la scienza**. Piccoli effetti ci portano talvolta a cambiare profondamente la nostra visione del mondo
- **Il viaggio nel tempo della Fisica non è certamente finito**. E anche se il capitolo 3 non è ancora ultimato alcuni fisici stanno già cercando di capire di cosa tratterà il capitolo 4.