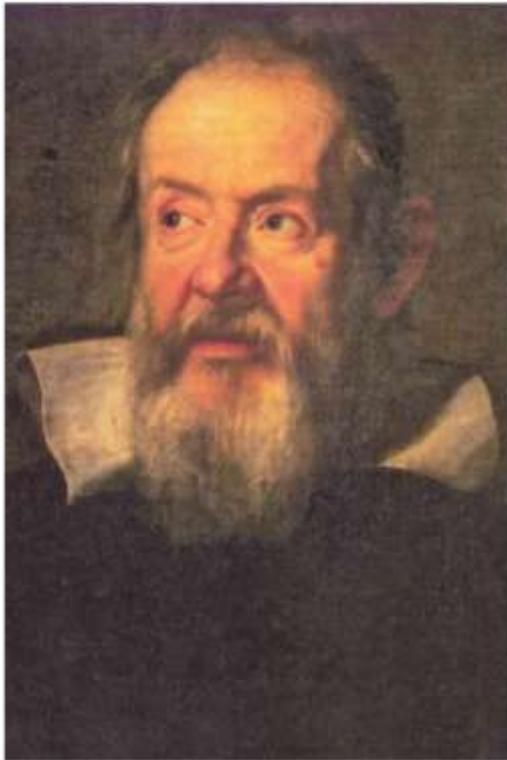

Galileo e la



Galileo Galilei

relatività

Galileo e il Dialogo



J. SUSTERMANS, GALILEO GALILEI, GALERIA DEGLI UFFIZI, FIRENZE

Ritratto di Galileo Galilei.



G. GALILEI, 1632

Copertina del Dialogo sopra i due massimi sistemi, i tre personaggi raffigurati sono, da sinistra, Aristotele, Tolomeo e Copernico.

dal Dialogo sopra...

Ancora nella *Seconda Giornata del Dialogo sopra i Due Massimi Sistemi*, Galileo Galilei descrive un esperimento da compiere all'interno di una nave.

rinchiudetevi **Riserratevi** con qualche amico nella maggiore stanza
coperta che sia sotto **coperta** di alcun gran **navilio**, e quivi
naviglio, nave fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti
vi sia anche volanti; **siavi anco** un gran vaso d'acqua, e **dentrovi**
si sospenda anche de' pescetti; **suspendasi anco** in alto qualche
stretta secchiello, che a goccia a goccia **vadia** 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

Galileo ed Einstein

Secoli dopo Albert Einstein, nella teoria della relatività ristretta, farà l'ipotesi che tutte le leggi della fisica, non soltanto quelle della meccanica, siano le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

dentro

vada

occe

... i Due Massimi Sistemi ...

forte
spazi uguali
vascello
oppure

entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno uguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vascello 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, nè da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma. Voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, nè, perché la nave si muova velocissimamente, farete

siano uguali
nessun

... (giornata Seconda)

maggior salti verso la poppa che verso la prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso la poppa, che se voi fuste situati per l'opposito; le gocciole cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella loro acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la sussequente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parete che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi per aria, saranno state separate [...].

foste

neppure una

nuoteranno

infine

guarda

da parte opposta

avanti - indietro

ammassino

fossero stanche

moto uniforme = quiete?

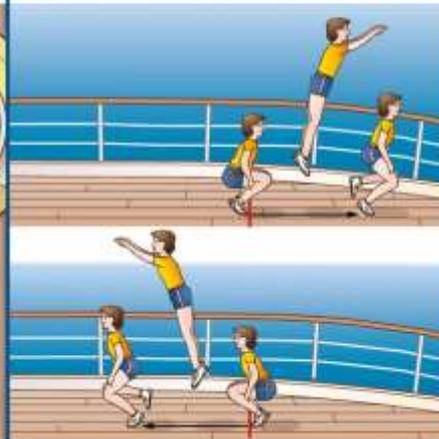
Cioè, quando la nave è ferma

► l'acqua che scende
goccia a goccia da un
secchiello entra nel collo
di una bottiglia;



A

► saltando verso prua o
verso poppa a piedi pari
con la stessa forza, si
supera la stessa distanza.



B

Principio di Relatività (PR) di G.

Quando la nave è in moto, a velocità costante e senza scosse, gli stessi fenomeni avvengono nella stessa maniera: saltare verso prua non è più faticoso che saltare verso poppa e le gocce d'acqua non «rimangono indietro» in modo da non centrare più l'apertura della bottiglia.

Questa scoperta di Galileo viene espressa, con un linguaggio moderno, come **principio di relatività galileiana**:

le leggi della meccanica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali, qualunque sia la velocità (costante) con cui essi si muovono gli uni rispetto agli altri.

un altro enunciato del PR di G.

PR: tutti i RI sono equivalenti dal punto di vista fisico, cioè tutte le leggi fisiche valgono allo stesso modo.

Il primo enunciato esplicito del PR è di Galileo, nel “Dialogo sui Massimi Sistemi” (1632), più di 50 anni prima dei “Principia” di Newton.

Principio del taccuino: “se due fisici, A e B, fanno esperimenti in due diversi riferimenti inerziali, non è possibile riconoscere A da B con la sola lettura dei loro taccuini”.

Gli esperimenti possibili per A lo sono anche per B. Naturalmente non è necessario che i risultati delle misure siano uguali, ma rappresentano la stessa fisica, sono indistinguibili.

Se vale il PR, è impossibile decidere se la Terra è ferma! Nel “Dialogo”, il PR è funzionale alla difesa del sistema copernicano.

un altro ancora

**Se siamo nella nave di Galileo,
o più modernamente in un treno che viaggia
a velocità costante su un binario rettilineo,
nessun esperimento ci permette
di riconoscere se la nave (il treno)
si sta muovendo oppure no.**

**Nessun esperimento permette di
distinguere due riferimenti inerziali (RI)
in moto traslatorio rettilineo
uniforme (TRU) l'uno rispetto all'altro.**

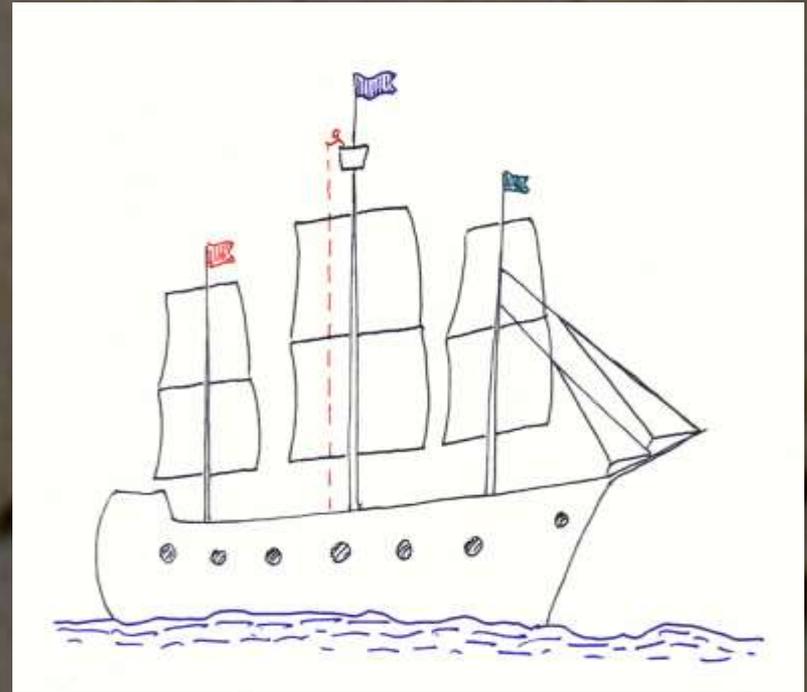
come ci arriva Galileo?

In modo indiretto, sulla base di diversi esempi.

1. L'esempio della nave.

Se si lascia cadere un sasso dalla cima di un albero, mentre la nave corre sul mare, dove cadrà il sasso?

Galileo afferma che cade al piede dell'albero, sebbene la nave, mentre il sasso è in aria, abbia corso in avanti un buon tratto

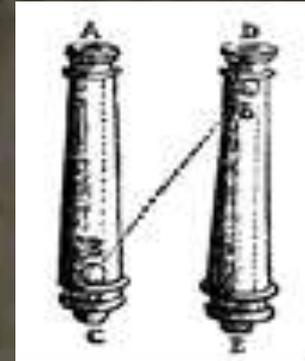
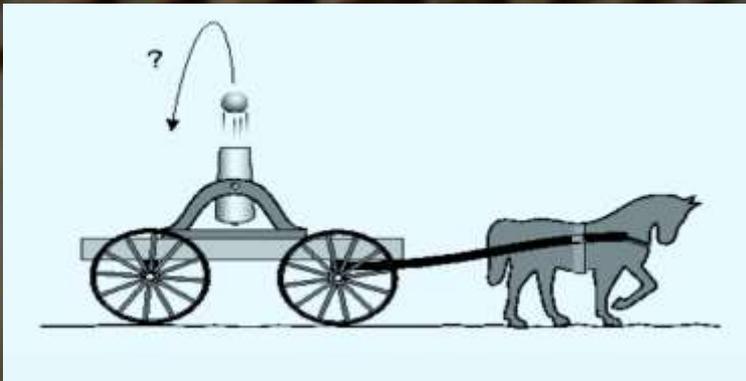


il saltamartino

2. L'esempio del cannone.

Si monta un cannone su un carro, con la canna verticale. Quando il carro è fermo, la palla sparata ricade all'incirca nella bocca del cannone.

Quando il carro corre, succede lo stesso? Bisogna tener conto che in questo caso, mentre la palla è in volo, il carro si è spostato di un buon tratto in avanti.



ancora il saltamartino

Dice Galileo: "Se prendo un cannone e lo dirigo in verticale, quando sparo la palla va su e ricade nella bocca del cannone. Ora prendo il cannone, lo metto su un carro e frusto il cavallo: quello parte di gran galoppo. A questo punto sparo il cannone ..."

Simplicio dice che la palla del cannone cadrà all'indietro, perché il cannone si è spostato, mentre la palla è in aria.

Salviati dice che la palla non parte in verticale rispetto a terra: ha anche la velocità del carro; quindi descrive una parabola in avanti e ricasca giusto nella bocca del cannone. Anzi, ci casca così bene che non urta nemmeno, perché nel tempo in cui la palla percorre la bocca del cannone, questa cammina in avanti proprio con la stessa velocità della palla; per cui la palla scivola dolcemente dentro, proprio come se il cannone fosse fermo.

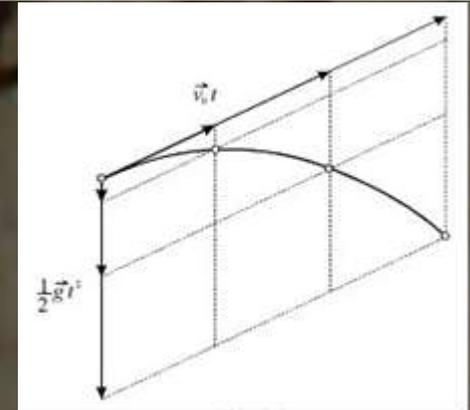
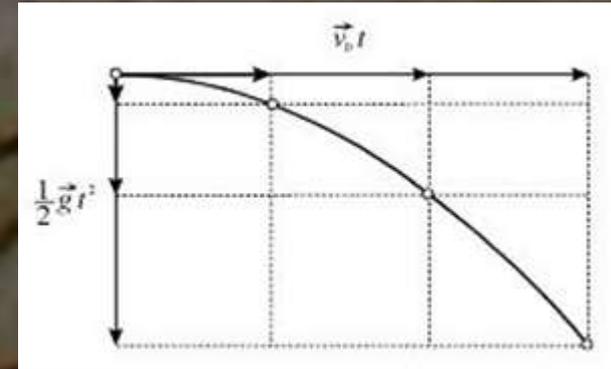
Occorre fare l'esperimento. O studiare il moto dei gravi.

il moto 'naturale' dei gravi

L'aggettivo è di Galileo: egli prima studia, matematicamente, il moto **"uniformemente"** accelerato ("equabilmente"), poi parla di moto **"naturalmente"** accelerato per la legge fisica di caduta dei gravi. **Non è dato sapere a priori se sono la stessa cosa o no: ci vogliono i risultati sperimentali.** Eccoli:

Caduta libera (con partenza da fermo): moto verticale, uniformemente accelerato: la posizione all'istante di tempo t è $\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \vec{g} t^2$

Proiettile con velocità iniziale qualunque: moto parabolico, in un qualunque istante t la posizione si ottiene sommando vettorialmente il moto verticale di caduta con la traslazione $\vec{s}(t) = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$



la deduzione del PR

È importante notare che **questi dati sono sperimentali, non deducibili “logicamente” in alcun modo** (se uno non conosce, ad es. il 2° principio e il fatto che la forza di gravità non dipende dalla velocità)
Quello che da questi dati si può dedurre è che l'accelerazione dei gravi è sempre g , indipendentemente dalle condizioni iniziali, stando sulla Terra.
CAMBIO RI: se guardo il proiettile stando sul carro, che si muove in orizzontale con la stessa velocità v_0 , allora, in questo RI, la velocità iniziale del grave non c'è più e si torna alla caduta libera: il proiettile si muove in verticale, COME UN PROIETTILE CHE CADA, DA FERMO, IN UN RIFERIMENTO FERMO! HO DEDOTTO IL PR! Nessun esperimento permette di distinguere due RI in moto TRU. Tutti i fenomeni fisici seguono le stesse leggi in due RI in moto TRU Nel passaggio da un RI ad un altro in moto TRU, tutte le leggi fisiche sono invarianti.

il ragionamento di Galileo

1. Afferma che la velocità orizzontale si conserva anche dopo che il proiettile è stato sparato o il sasso è stato lasciato.
2. Prevede le modalità del fenomeno nel riferimento "in moto" (carro, nave) in base a quanto si vede dal riferimento "fermo".
3. Con questo spiega perché il proiettile deve ricadere nella bocca del cannone, e il sasso cade al piede dell'albero.
4. Ne conclude che nel riferimento in moto il fenomeno si svolge come andrebbe nel riferimento fermo, se eseguito con le stesse condizioni iniziali.
5. Enuncia il PR come legge generale, nel modo che abbiamo visto: "Riserratevi ..."

l'astronave

Come conseguenza di questo principio, nessun esperimento di meccanica compiuto al chiuso (cioè senza guardare fuori dal finestrino) ci può permettere di capire se siamo fermi in un sistema di riferimento inerziale, per esempio la Terra oppure se, rispetto a esso, ci stiamo muovendo a velocità costante (**figura 4**).



Figura 4. L'astronave è ferma o si muove a velocità costante?

testiamoci



**su ZTE Zanichelli, il titolo della
batteria di test è**

PR Galileo Pannuti

navilio di Galileo

navilio di Galileo

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Il 'navilio' di Galileo

- non è detto come si muoveva
- si muoveva in modo qualunque
- si muoveva con accelerazione costante
- era fermo
- si muoveva con velocità costante

Conferma

def PR Galileo

def PR Galileo

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Il principio di relatività di Galileo afferma che:

- Tutti i riferimenti fermi sono inerziali.
- Non esistono riferimenti inerziali.
- Tutti i riferimenti inerziali sono uguali.
- Tutti i riferimenti sono inerziali.
- Tutti i riferimenti inerziali sono indistinguibili.

Conferma

def PR Galileo 2

def PR Galileo 2

Trascina le parole azzurre negli spazi vuoti corrispondenti. Quando hai concluso, fai clic su Conferma.

Il principio di di Galileo afferma che le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento , qualunque sia la costante con cui essi si muovono gli uni rispetto agli altri

accelerazione

inerzia

velocità

inerziali

relatività

fermi

Conferma

taccuino

taccuino

Trascina le parole azzurre negli spazi vuoti corrispondenti. Quando hai concluso, fai clic su Conferma.

Se due fisici, A e B, fanno esperimenti in due diversi riferimenti , possibile riconoscere A da B con la sola lettura dei loro taccuini.

inerciali

galileiani

è sempre

non è

Conferma

taccuino 2

taccuino 2

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Il principio di relatività galileiano, nell'enunciato del taccuino, afferma che

- i risultati delle misure prese nei due RI possono essere qualsiasi e non devono necessariamente essere compatibili con le leggi fisiche.
- è necessario che le misure prese nei due RI siano uguali entro le incertezze sperimentali
- non ci deve essere nessuna restrizione sulle misure prese nei due RI
- è necessario che le misure prese nei due RI siano esattamente uguali
- non è necessario che i risultati numerici degli esperimenti siano uguali, ma devono essere compatibili con le leggi fisiche

CONFERMA

nave

nave

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Se si lascia cadere un sasso dalla cima di un albero, mentre la nave corre sul mare a velocità costante, dove cadrà il sasso?

- non si può sapere, dipende dalla velocità della nave
- cadrà ai piedi dell'albero solo se la velocità della nave è molto bassa
- un po' più avanti del punto in cui il sasso è stato lasciato cadere
- esattamente sotto il punto in cui il sasso è stato lasciato cadere
- un po' più indietro del punto in cui il sasso è stato lasciato cadere

Conferma

saltamartino

saltamartino

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Quando il cavallo che traina il carro con il cannone sopra corre con velocità costante, che cosa succede?

- la palla rientra esattamente nel cannone solo se la velocità del cavallo è bassa
- la palla non rientra nel cannone perché resta indietro rispetto al carro
- la palla rientra esattamente nel cannone
- la palla non rientra nel cannone perché cade davanti al carro
- non si può prevedere dove cadrà la palla

Conferma

ragionamento

ragionamento

Scegli la risposta che ritieni corretta, poi fai clic su Conferma.

Se guardo il proiettile stando sul carro, che si muove in orizzontale con la stessa velocità v_0 , allora, in questo RI,

- la velocità iniziale del grave non c'è più e si torna alla caduta libera, cioè il proiettile si muove in orizzontale
- la velocità iniziale del grave non c'è più e si torna alla caduta libera, cioè il proiettile si muove di moto parabolico indietro
- la velocità iniziale del grave non c'è più e si torna alla caduta libera, cioè il proiettile si muove di moto parabolico in avanti
- la velocità iniziale del grave si somma vettorialmente alla velocità v_0 , cioè il proiettile si muove con velocità doppia
- la velocità iniziale del grave non c'è più e si torna alla caduta libera, cioè il proiettile si muove in verticale

Conferma

gravità

gravità

Trascina le parole azzurre negli spazi vuoti corrispondenti. Quando hai concluso, fai clic su Conferma.

Tutti i corpi cadono con .

diversa accelerazione costante, a
seconda della massa

la stessa accelerazione
costante

diversa velocità costante, a seconda
della massa.

la stessa velocità
costante

Conferma

crediti

- <http://www.sagredo.eu/Q16/lez03.pdf>
- http://digidownload.libero.it/la_prof_di_fisica/relativita12345.pdf