



## APPENDICE 3

### Una sperimentazione di Relatività

di Massimo Coluccini

#### Descrizione della sperimentazione

Dall'anno 1995 presso il Liceo Scientifico "A. Vallisneri" di Lucca è stata introdotta la Relatività come disciplina curricolare, da affiancare al corso di Fisica a partire dalla classe terza.

Ciò è stato possibile in quanto il Liceo "A. Vallisneri" ha aderito ad un progetto di sperimentazione guidato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca, il cosiddetto "Progetto Proteo," che prevede, accanto alle discipline curricolari contenute nel quadro orario nazionale, la possibilità di inserire altre materie di studio, individuate direttamente dal collegio dei docenti della scuola in cui il progetto viene attuato.

Nell'ambito della sperimentazione ad orientamento scientifico del Progetto Proteo, il collegio dei docenti del Liceo "A. Vallisneri" ha deciso di potenziare l'insegnamento delle materie scientifiche e, in particolare, della Fisica.

La scelta è stata allora quella di proporre l'inserimento dell'Astronomia nel biennio e della Relatività e Fisica Quantistica nel triennio, da affiancare, rispettivamente, alla disciplina di Laboratorio di Fisica-Chimica nel biennio ed al corso istituzionale di Fisica nel triennio.

È opportuno precisare che l'introduzione delle nuove discipline di studio è stata possibile poiché ci si è avvalsi delle proposte didattiche in merito, elaborate dal professor Elio Fabri.

Per quanto riguarda l'insegnamento della Relatività, è stato allora organizzato un corso di aggiornamento biennale riservato a docenti di Fisica e di Matematica e Fisica, nel quale sono stati discussi gli argomenti e le metodologie adatti all'introduzione della teoria della Relatività nella scuola secondaria superiore. I contenuti del corso sono quelli presenti in questo quaderno.

Per la Fisica Quantistica la proposta didattica attuata è quella che il professor Fabri ha presentato all'Aquila nel 1999, in occasione della scuola estiva per docenti di Fisica organizzata dall'A.I.F.

Per quanto riguarda invece l'insegnamento dell'Astronomia nel biennio, si è fatto riferimento ad un altro progetto didattico, il cosiddetto "Progetto Cascina."

La sperimentazione del "Progetto Proteo" è tuttora attiva presso il Liceo "A. Vallisneri" secondo il quadro orario seguente: nella prima e nella seconda classe del Liceo Scientifico Proteo sono previste quattro ore settimanali di Laboratorio di Fisica-Chimica e due ore settimanali di Astronomia; nella terza classe del suddetto liceo sono previste tre ore settimanali di Fisica e due ore settimanali di Relatività; nella quarta classe sono previste due ore settimanali di Fisica e due ore settimanali di Relatività, mentre nella quinta classe sono previste tre ore settimanali di Fisica e due ore settimanali di Fisica Quantistica.

Presso il Liceo Scientifico "A. Vallisneri" è attivo anche un altro progetto di sperimentazione guidata: la cosiddetta sperimentazione "Quinquennio Autonomia Scientifico," avviata nel 1997.

Nell'ambito di tale progetto le ore settimanali destinate all'insegnamento della Fisica sono quattro nella terza classe, tre nella quarta classe e cinque nella quinta classe. In alcune classi che sperimentano il progetto "Quinquennio Autonomia Scientifico" viene affrontato lo studio della Relatività, secondo la stessa scansione annuale prevista dal Progetto Proteo.

Gli appunti presentati qui di seguito sono due esempi di “traduzione” ad uso di studenti di liceo di alcune lezioni da introdurre nei corsi di Relatività per le classi della sperimentazione Proteo ad orientamento scientifico.

Come modello per queste dispense sono stati presi gli appunti del “Progetto Cascina,” e sono perciò volutamente scritte come un canovaccio che deve essere completato dagli studenti dopo discussioni, congetture ed esperimenti.

Alcuni problemi sono nati da queste discussioni e sono stati conservati i nomi dei ragazzi che hanno espresso le idee contenute nei vari problemi affrontati o che hanno risposto alle domande che sono state loro proposte.

Oltre a questi appunti costruiti insieme ai ragazzi, è in adozione come libro di testo il volume dal titolo *Fisica dello spazio-tempo* di Taylor e Wheeler, utilizzato soprattutto come fonte ed ispirazione di numerosi problemi e esercizi.

Nella terza classe si affrontano i primi 5 capitoli del testo di Taylor e Wheeler ed i relativi contenuti corrispondono grosso modo alle prime 10 lezioni di questo Quaderno.

Nella quarta classe si affronta lo studio della dinamica relativistica e viene ripreso il principio di equivalenza, per concludere con la trattazione del problema della curvatura dello spazio-tempo.

Per questa ultima parte viene utilizzato, come guida per l’insegnante, un testo scritto dal professor Fabri, intitolato *Per un moderno insegnamento della Relatività* e pubblicato a suo tempo dalle sezioni A.I.F. di Pisa e di Lucca.

Utilissimi supporti didattici sono inoltre i seguenti film della serie PSSC: *Tempo e orologi*, *Sistemi di riferimento*, *La dilatazione del tempo*, *La velocità limite* e *La pressione della luce*.

Dopo molti anni, ormai all’incirca dieci, di sperimentazione sul campo, tenuto conto anche delle osservazioni degli allievi, alcuni dei quali si sono poi laureati in Fisica o Matematica, si può affermare che la Relatività non presenti difficoltà maggiori di tante altre parti della Fisica, anzi!

Per di più, lo studio della Relatività è molto apprezzato dagli studenti e questi ultimi riescono così a farsi un’idea rigorosa di una parte della Fisica moderna che, se affrontata senza la guida di un insegnante e senza un’opportuna metodologia didattica, corre il rischio di rimanere un misto di stranezze, paradossi e confusione.

Giudizi decisamente positivi sull’insegnamento della Relatività nella scuola secondaria superiore sono stati espressi in questi anni anche dagli allievi dell’indirizzo Fisico-Matematico della SSIS-Toscana, i quali hanno potuto spesso seguire dal vivo in classe alcune lezioni di Relatività, che sono in genere molto partecipate, con interventi anche da parte di quegli alunni che solitamente sono poco interessati a prendere parte ad una discussione che coinvolga i compagni e l’insegnante.

## In volo libero

“In quel momento ebbi l’idea più felice della mia vita ... per un osservatore che cade liberamente dal tetto di una casa, durante la caduta non esiste alcun campo gravitazionale, almeno nelle sue immediate vicinanze ...”

(*Albert Einstein*)

... ma l’avventura che ha portato alle più sconvolgenti scoperte sulla natura dello spazio-tempo è iniziata molto tempo prima, diamo ancora una volta la parola a Galileo:

“Tra palle d’oro, di piombo, di rame, di porfido, o di altre materie gravi, quasi del tutto insensibile sarà la disegualità del moto per aria, ché sicuramente, una palla d’oro nel fine della scesa di cento braccia non preverrà una di rame di quattro dita; veduto, dico, questo, cascai in opinione che se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie scenderebbero con eguale velocità.”

Cerchiamo di capire cosa ci vuole dire Galileo e, per questo scopo, facciamo i seguenti semplici esperimenti.

### *Esperimento 1:*

Lasciamo cadere un foglio e un mazzo di chiavi.

### *Esperimento 2:*

Lasciamo cadere un foglio “accartocciato” e un mazzo di chiavi.

### *Esperimento 3:*

Lasciamo cadere un foglio appoggiato sul registro e un mazzo di chiavi.

Ha ragione Galileo?

Pare proprio di sì ... effettivamente riducendo la resistenza del mezzo, e ciò è stato fatto o accartocciando il foglio, o poggiandolo sul registro, il mazzo di chiavi e il foglio di carta sembrano toccare contemporaneamente il pavimento.

Questa scoperta, come vedremo, ha conseguenze molto importanti. Ma prima diamo alcune definizioni.

Parleremo spesso di “riferimento” intendendo con questo termine un laboratorio rigido, dotato di tutti gli strumenti che ci servono... Esempi: un’astronave in orbita, questa stanza, un camper che viaggia sull’autostrada, una giostra, un camper che viaggia su una strada di montagna...

Chiameremo “riferimento in volo libero” o “ascensore di Einstein” un riferimento soggetto solo alla forza gravitazionale.

Che succede in un riferimento in volo libero se un ragazzo lascia cadere una mela o versa dell’acqua o accende una candela o ...

Puoi fare altri esempi e discutere: tieni conto di ciò che abbiamo imparato dal brano di Galileo precedentemente letto. Prima di rispondere puoi fare i seguenti esperimenti che ti aiuteranno a capire meglio cosa succede in un riferimento in volo libero.

### *Esperimento 4:* Bottiglia bucata piena d’acqua in caduta libera.

Prendiamo una bottiglia di plastica, di quelle per l’acqua minerale. Facciamo due fori sotto la metà della bottiglia, riempiamola d’acqua e lasciamola cadere da una finestra. Che succede prima che sia lasciata cadere? e durante la caduta?

Potete provare anche a lanciare la bottiglia in alto o a passarvela come una palla (avendo cura di mantenere la bottiglia verticale). Che succede mentre la bottiglia vola? L’acqua continua a cadere?

*Esperimento 5:*

Prendi una bottiglia di plastica, di quelle usate per l'acqua minerale. Prendi uno spago e legaci un peso di piccole dimensioni, in modo che entri dentro la bottiglia. Introduci il pendolo così costruito dentro la bottiglia e fissalo con il tappo. Quando la bottiglia è ferma il pendolo è teso.

Quali sono le forze che agiscono sulla massa legata allo spago?

Che succede se lascio cadere la bottiglia?

*Esperimento 6:*

Prendi due tavolette e appoggiale all'estremità di una tavoletta più grande. Legale entrambe a un elastico e fallo girare esternamente intorno alla tavoletta più grande in modo che l'elastico sia teso, ma non troppo, e che le tavolette piccole siano in equilibrio.

Quali forze agiscono sulle tavolette piccole?

Che succede se lascio cadere le tavolette?

**Fantafisica**

Mettiamo alla prova la nostra immaginazione, tenendo conto di quello che abbiamo imparato...

Prova a descrivere una cena in un riferimento in volo libero...

Prova a descrivere una cena in un riferimento nello spazio vuoto (ossia lontanissimo da ogni pianeta).

Cosa abbiamo imparato dai precedenti esperimenti? Pare che in un riferimento in volo libero l'acqua non cada, le tavolette non poggino più sulla tavola più grande, i fili dei pendoli non siano più tesi... Da tutto ciò possiamo concludere che in un riferimento in volo libero la gravità si cancella?

Vediamo un'ulteriore prova di ciò: la Terra è un riferimento in volo libero sul Sole; hai mai osservato deflessioni dalla verticale di pendoli o gravi in caduta libera?

Rispondi dopo aver discusso i seguenti problemi.

*Problema 1:*

La Terra è un sistema in volo libero sul Sole. Se l'accelerazione esercitata dal Sole non si cancellasse, cosa accadrebbe a una pallina lasciata cadere dalla torre di Pisa al sorgere del Sole la mattina del 20 marzo 2004 (equinozio di primavera)? E al tramonto del Sole dello stesso giorno?

Massa del Sole  $2 \cdot 10^{30}$  kg;

distanza Terra-Sole  $1.5 \cdot 10^{11}$  m;

altezza della torre di Pisa 55 m.

*Questione 1:*

Se l'accelerazione esercitata dal Sole non si cancellasse, cosa accadrebbe a un pendolo in equilibrio durante una giornata? I muratori potrebbero usare il filo a piombo per costruire muri dritti?

Da tutto quanto detto finora possiamo trarre la seguente conclusione: in un riferimento in volo libero sembra che la gravità si cancelli.

Dunque un riferimento in volo libero sembra equivalente a un riferimento nello spazio vuoto.

Più avanti torneremo su questo punto per chiarire cosa intende Einstein quando puntualizza che il campo gravitazionale si cancella "almeno nelle sue immediate vicinanze..."

*Esempi di riferimenti:*

- a) Un'astronave nello spazio vuoto.
- b) Questa stanza.
- c) Una giostra.
- d) Una grande nave spaziale.
- e) Una piccola nave spaziale.

Quali tra i riferimenti sopra elencati sono in volo libero e quali no?

I seguenti problemi ci aiuteranno a capire meglio i riferimenti in volo libero.

*Problema 2:*

In un ascensore in volo libero si può misurare la massa di un corpo? Se sì, come?

*Problema 3 (Dal Taylor–Wheeler):* Dalla Terra alla Luna.

Jules Verne verso il 1865 iniziò a scrivere il romanzo *Dalla Terra alla Luna*. La storia racconta che esperti progettisti di cannoni inseriscono un cannone in un pozzo, con l'imboccatura verso l'alto. Da questo cannone essi sparano un proiettile di circa 10 tonnellate che contiene tre uomini e diversi animali. Verne racconta che durante la prima fase del viaggio, quando la gravità esercitata dalla Terra è maggiore di quella esercitata dalla Luna, i passeggeri camminavano normalmente calpestando la parte del pavimento più vicina alla Terra. Mentre il viaggio prosegue, i passeggeri si trovano sempre meno premuti contro il pavimento e, nel punto in cui la Terra e la Luna esercitano attrazioni gravitazionali uguali (ma di verso opposto), i passeggeri galleggiano. Più tardi essi iniziano ancora una volta a camminare, ma questa volta calpestano la parte del veicolo più vicina alla Luna.

Durante la prima parte del viaggio, un cane dell'equipaggio muore per le ferite riportate durante il lancio. I passeggeri si liberano dei suoi resti gettandoli fuori dalla navicella. Scoprono che il corpo rimane a fluttuare fuori dall'oblò per tutto il resto del viaggio.

Verne aveva una conoscenza corretta della Fisica? Spiegate.

*Problema 4:* Dalla Terra ... alla Terra.

Quello che non racconta il romanzo è che, poco dopo, fu costruito un altro dispositivo come quello descritto da Verne. E il dispositivo fu utilizzato per mandare alcuni astronauti sulla Luna, ma qualcosa non funzionò: la navicella fu lanciata ma ... ricadde sulla Terra.

1. Mentre la navicella stava ancora salendo, si narra che un astronauta saltò sul pavimento. Che cosa gli sarà successo?

- a) Sarà ricaduto sul pavimento della navicella?
- b) avrà colpito il soffitto?
- c) sarà successo qualcosa di diverso?

2. Un altro astronauta saltò, ma quando la navicella era passata oltre il punto più elevato della sua traiettoria. La tua risposta al punto 1 è diversa in questo caso?

3. Come avranno fatto gli astronauti a riconoscere l'istante in cui la navicella raggiunse il punto più alto della sua traiettoria?

*Problema 5:* Massa o peso?

In una trasmissione televisiva a carattere divulgativo su questioni di Astronomia si assiste alla seguente scena: il conduttore si trova su un pianeta, chiamiamolo pianeta X; dalle immagini sembra simile alla Luna, solo molto più piccolo. Il diametro sembra di circa 100 m.



Il conduttore sostiene che, essendo il pianeta X estremamente piccolo, il campo gravitazionale è trascurabile e che, per questo motivo, si possono, con facilità, sollevare locomotive. La scena mostra il conduttore che alza e abbassa una locomotiva con la stessa facilità con cui, sulla Terra, si alza un libro.

Alessandro e Gabriele hanno assistito alla trasmissione e discutono sulla credibilità della scena.

Alessandro sostiene che, poiché il campo gravitazionale sulla superficie del pianeta X è piccolo, la locomotiva ha un piccolo peso. Ne deduce che la scena è credibile.

Gabriele sostiene che non si tratta di peso, ma di massa: per accelerare un corpo è necessario imprimergli una forza e l'accelerazione è il rapporto tra la forza e la massa. Poiché la locomotiva ha massa molto grande, l'accelerazione è decisamente piccola. Da questo deduce che neppure sul pianeta X (o in un ascensore in volo libero) le locomotive possono essere sollevate con facilità.

Chi ha ragione? Prima di prendere una decisione fai un po' di calcoli.

- Calcola il campo gravitazionale sulla superficie del pianeta X; supponi che la densità del pianeta sia la stessa della Luna. (Massa della Luna:  $7.4 \cdot 10^{22}$  kg; diametro della Luna:  $3.5 \cdot 10^3$  km.
- Calcola il peso della locomotiva sul pianeta X (la massa di una locomotiva è di circa  $10^4$  kg). Confronta il peso trovato con quello di un libro sulla Terra.
- Supponi che un atleta sia capace di applicare una forza di 1000 N per qualche minuto: quanto tempo impiegherebbe per sollevare la locomotiva di 2 metri?
- Una volta sollevata la locomotiva a due metri, l'atleta vorrebbe tenerla ferma a quell'altezza: ci potrebbe riuscire? Come?

Confronta la velocità della locomotiva dopo che è stata sollevata di 2 m con la velocità di fuga dal pianeta.

Ora decidi: chi, tra i due ragazzi, ha ragione?

#### Problema 6 (Olimpiadi della Fisica):

Una persona si trova in una cabina di un ascensore che sta precipitando con l'accelerazione costante di caduta libera,  $g$ . Se quella persona lanciasse una pallina di gomma verso il soffitto della cabina potrebbe osservare che:

- la pallina non si solleva verso il soffitto, ma rimane ferma a una distanza costante dal pavimento
- la pallina raggiunge il soffitto della cabina e si ferma
- la pallina non si solleva ma scende verso il pavimento a velocità costante
- la pallina sale, urta il soffitto, e quindi scende verso il pavimento a velocità costante
- la pallina sale, urta il soffitto, e quindi scende verso il pavimento a velocità sempre più alta.

#### Problema 7:

Giulia e Patrizia discutono sulla seguente questione di Fisica. Giulia sostiene che, se l'accelerazione esercitata dal Sole non si cancellasse, il filo a piombo cambierebbe direzione nell'arco della giornata. Patrizia sostiene che l'affermazione di Giulia è falsa.

Per convincere Patrizia, Giulia fa il seguente ragionamento che scrive in un appunto ... sfortunatamente incompleto.

“Il prossimo 20 marzo, al sorgere del Sole, se l'accelerazione esercitata dal Sole non si cancellasse, il filo a piombo defletterebbe verso \_\_\_\_\_ formando un angolo di \_\_\_\_\_ rispetto alla verticale, mentre al tramonto defletterebbe verso \_\_\_\_\_ formando un angolo di \_\_\_\_\_ rispetto alla verticale.”

Chi ha ragione? Giustifica la risposta e, se dai ragione a Giulia, completa l'appunto. (L'accelerazione esercitata dal Sole sulla Terra è  $6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ .)

### Il principio di relatività

“SALVIATI: [...] Riserratevi 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; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando la nave ferma, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno notar indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno 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, equali spazii passerete verso tutte le parti. 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: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggiori 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 goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso la 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 la susseguente 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 fossero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi per aria, saranno state separate. [...]”

Quello che scrive Galileo sembra semplice. Proviamo a cercare, tra le esperienze che sicuramente abbiamo fatto, viaggi in treno, aereo o nave, fatti che ci permettano di capire meglio ciò che abbiamo letto.

#### *Problema 1: Strane colazioni.*

Pierino fa solitamente colazione nella sua cucina. Mangia delle fette tostate che prepara con quegli strani tostapane che lanciano in alto le fette pronte. Versa il latte fumante e il caffè nella tazza e insomma fa quello che noi tutti facciamo a colazione. Ora supponi che Pierino faccia la colazione sopra descritta nei riferimenti indicati di seguito:

- a) un treno che viaggia a velocità costante su un tratto di binario rettilineo;
- b) un camper che viaggia su una strada di montagna;
- c) un camper che viaggia in autostrada;
- d) un aereo che improvvisamente fa una brusca virata;
- e) un aereo al momento del decollo.

Cerca di immaginare cosa succede a Pierino, per esempio, quando versa il latte nella tazza nei vari riferimenti o cosa succede quando il tostapane lancia una fetta pronta.

Sarai d'accordo che in alcuni riferimenti è più comodo fare colazione: in quali?

*Problema 2: Le apparenze ingannano...*

Vi sarà capitato di vedere la foto di una nave sul mare. Le navi hanno solitamente alberi su cui sventolano bandiere. Supponiamo che le bandiere sventolino verso sinistra.

Analizzando le foto sopra descritte puoi trarre qualche conclusione sul moto della nave? si può capire se è ferma o se si sta muovendo verso destra o verso sinistra? Si possono trarre conclusioni diverse?

Spiega la risposta e motivala, se vuoi, con disegni.

*Attività 1: Ha ragione Galileo?*

Ancora a proposito del brano letto (quello del “gran navilio”). Ha davvero ragione Galileo? Sarà vero che fare salti, lanciare palle, far cadere gocce d’acqua in vasi “d’angusta bocca” non permette di capire se la nave è ferma o se si muove di moto TRU?

Puoi fare la seguente prova: prendi una bottiglia, un bicchiere, un pallone, un bastoncino di incenso e fai un piccolo viaggio in treno (treno, nave o aereo fa lo stesso).

È abbastanza facile che il treno percorra, a velocità costante, un tratto rettilineo. Una volta individuato questo tratto, versa l’acqua nel bicchiere, accendi l’incenso, fai un salto “a pié giunti,” e lancia la palla a un tuo compagno quando questo è a un paio di metri da te (una volta verso la testa del treno, un’altra verso la coda e in altre posizioni ancora...).

Ripeti poi tutte le prove a treno fermo, o in sala d’aspetto della stazione o nella tua camera.

Puoi, se hai una telecamera, filmare le prove fatte. Ha ragione Galileo?

*Credo che Galileo ci abbia convinti!*

Riassumiamo ancora quanto emerge dal brano: mettetevi in una stanza sotto coperta di una nave e saltate, giocate, fate quello che vi pare, da ciò non riuscirete a capire se la nave sta ferma o cammina di moto TRU.

In altre parole: voi state dentro una nave o dentro un vagone ferroviario o dentro un’astronave. Bene, se la nave o il treno o l’astronave si muovono di moto TRU, non ve ne accorgete!

Volendo esprimere questo in termini moderni, si può dare un enunciato che contiene tutto quello che Galileo dice:

*Nessun esperimento consente di distinguere due riferimenti in moto TRU.*

Chiameremo questo postulato *Principio di Relatività (PR)*.

*Altro enunciato:*

C’è un altro modo utile per enunciare il PR, facile da ricordare e di valore pratico: lo chiameremo il *Principio del Taccuino*. In ogni laboratorio di fisica che si rispetti c’è un quaderno in cui il fisico annota i risultati degli esperimenti, ma più in generale tutto quello che accade.

Il principio del taccuino dice:

*se due fisici A e B fanno esperimenti in due diversi riferimenti in moto TRU, non è possibile riconoscere A da B con la sola lettura dei loro taccuini.*

Notate che non è detto che i due fisici facciano gli stessi esperimenti o che ottengano gli stessi valori numerici!



## Einstein e il principio di relatività

Vediamo cosa scrive Albert Einstein nel 1905:

“Esempi di questo genere [...] portano all’ipotesi che al concetto di quiete assoluta non corrisponda alcuna proprietà dei fenomeni fisici; e ciò non solo nella meccanica, ma anche nell’elettrodinamica. Al contrario, per tutti i riferimenti per i quali valgono le equazioni della meccanica, valgono pure le stesse equazioni elettrodinamiche e ottiche [...] Intendiamo perciò elevare quest’ipotesi (il cui contenuto verrà chiamato nel seguito “principio della relatività”) al rango di postulato [...]”

Ripetiamo con altre parole quello che scrive Einstein: fate pure qualunque esperimento, saltate, giocate o fate quello che vi pare, nulla vi consentirà di capire se siete in quiete o se vi muovete di moto TRU.

Ma questo è quello che ci ha detto Galileo! Ma allora perché Einstein lo riscrive?

Il fatto nuovo era rappresentato dalle scoperte di Maxwell: vediamo di che si tratta.

Maxwell nel 1870 elabora una teoria che, in quattro leggi, sintetizza i fenomeni elettromagnetici.

Tale teoria prevede l’esistenza delle onde elettromagnetiche, di cui sicuramente avrai sentito parlare, e prevede anche la velocità di queste onde nel vuoto:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Nota che  $c$  è la velocità della luce nel vuoto.

Verso il 1890 Hertz e Righi mostrano sperimentalmente che le onde elettromagnetiche esistono e nel 1905 sono già di uso pratico; infatti Marconi già da qualche anno ha realizzato i primi esperimenti di radiotelegrafia.

Tutta questa premessa ti farà un po’ sorridere; spiegare a un ragazzo, nel 2005, che esistono le onde elettromagnetiche è fin troppo facile, pensa a tutti gli strumenti che usi e che utilizzano le onde elettromagnetiche: radio, televisione, telefonino, radar, eccetera. Tutto ciò conferma abbondantemente la teoria di Maxwell, ma pone un problema: tale teoria prevede l’esistenza delle onde e.m., compresa la loro velocità =  $c$ , ma rispetto a quale riferimento?

*Risposta 1:* rispetto a un riferimento privilegiato (chiamiamolo “etere”). Ma allora il Principio di Relatività non vale: infatti, misurando la velocità della luce mi posso accorgere se sono fermo o no rispetto all’etere.

*Risposta 2:* la velocità delle onde e.m. nel vuoto è una costante universale e quindi è la stessa in tutti i riferimenti inerziali.

Einstein sceglie la risposta 2, altri fisici scelsero la risposta 1. Tuttavia in fisica esiste la possibilità di stabilire inequivocabilmente chi ha ragione: basta interrogare la natura.

Riassumendo, Einstein (1905) ipotizza che:

1: *Vale il principio di relatività generalizzato a tutti i fenomeni fisici.*

2: *La velocità della luce nel vuoto è una costante universale.*

Vedremo quali sono le prove sperimentali a sostegno della scelta di Einstein.

In particolare utilizzeremo il GPS, i mesoni come orologi e le sonde spaziali.

Ma prima studieremo il funzionamento di uno strano orologio: l’orologio a luce e scopriremo cose piuttosto strane... In sostanza assumeremo come veri i due postulati di Einstein, ne trarremo alcune conseguenze e poi, come sempre, interrogheremo la natura e, nel caso di scoperta di cose strane secondo i nostri pregiudizi, ma confermate dagli esperimenti, saremo costretti a cambiare modo di pensare.



Risolviamo ora i seguenti problemi.

*Problema 3:* Salti in treno (a pié giunti)

Un ragazzo salta verso l'alto mentre si trova su un treno che viaggia a 100 km/h. Cade sul pavimento nello stesso punto da cui si è lanciato o cade indietro rispetto al verso del moto del treno? (o in avanti?). Uno degli argomenti a favore dell'immobilità della Terra era questo: se fosse vero che la Terra ruota, saltando dovremmo rimanere indietro...

Se ciò fosse giusto, di quanto rimarrebbe indietro un ragazzo che salta "a pié giunti" a Lucca?

Supponi che il tempo di volo, ossia il tempo in cui il ragazzo rimane in aria sia di 0.5 s. Il raggio della Terra è di circa 6400 km e la latitudine di Lucca è circa  $44^\circ$ .

*Problema 4* (tratto dal PSSC):

In una delle sue opere Galileo disse che un corpo abbandonato a se stesso dalla sommità dell'albero di una nave in moto TRU toccherebbe il ponte in un punto direttamente al di sotto del punto di partenza.

Rappresenta la traiettoria che il corpo percorrerebbe nel riferimento:

- a) della nave
- b) di un osservatore situato su una boa.

*Problema 5:*

Due laboratori si muovono di moto TRU rispetto alle stelle fisse. Sulla base del Principio di Relatività quali delle quantità (o leggi) che compaiono nella seguente lista devono necessariamente essere uguali quando vengono misurate nei due riferimenti e quali non è detto che debbano essere uguali?

- a) Valore numerico della velocità di una cometa.
- b) Velocità di un elettrone.
- c) Prima legge di Newton.
- d) Carica di un elettrone.
- e) Energia cinetica di un elettrone.

*Problema 6:*

Sulla "mailing list" *Sagredo* il Professor Elio Fabri ha proposto la seguente questione: "Giorni fa dal mio balcone ho visto a pochi metri da me una rondine che per una frazione di secondo se n'è stata ferma in aria, senza battere le ali. Com'è possibile?"

Rispondete alla domanda.

*Attività 2:*

Prendi una bilancia, di quelle che utilizziamo in casa per controllare il peso e prova a pesarti su un ascensore.

Stai attento a cosa succede quando l'ascensore parte, quando stabilizza la velocità e quando frena (che peso leggi?).