

FISICAST

per  
**SxT**

**La Terra,  
un grande girotondo**

di

Riccardo Faccini e Gianluca Li Causi



## Girotondo

*Riccardo Faccini e Gianluca Li Causi*

### Abstract:

**Che la terra ruoti è fatto noto a tutti. Ma che a causa di questo noi ci troviamo a viaggiare nello spazio e 1200 chilometri orari è una considerazione che pochi fanno. Sorgono allora molte domande: come mai non percepiamo questa velocità? Come mai non veniamo sbalzati fuori dalla terra? Come mai non ci arriva contro un vento a 1200 chilometri orari? Fisicast risponde a queste domande, discutendo le conseguenze di questa rotazione e mostrando come sia possibile convincersi che effettivamente stiamo ruotando. Il tutto passando in modo semplice per concetti di fisica quali le forze fittizie, in particolare quella di Coriolis, e la conservazione del momento angolare.**

### INIZIO

Si comincia con la musica di "Giro Giro Tondo", per esempio [http://www.youtube.com/watch?v=A7O6muqf\\_so](http://www.youtube.com/watch?v=A7O6muqf_so) che si può tenere come sottofondo(?).

**Questa semplice filastrocca, che ha accompagnato generazioni di bambini nel gioco, ispira pensieri scientifici ai fisici Riccardo Faccini e Gianluca Li Causi: cosa comporta la rotazione della terra? C'è modo di capire se la terra ruota? Ascoltiamo un po' dove vanno a parare...**

R. L'altro giorno i miei figli si sono messi a cantare "Giro Giro Tondo". Così abbiamo cominciato a parlare del fatto che la Terra girava. Ho spiegato che era come stare su una giostra. Ma a questo punto il grande mi ha spiazzato chiedendomi: perché se non mi tengo in una giostra cado, mentre dalla Terra no?

G. Bella domanda... e tu che hai risposto?

R. Lì per lì dovendo rispondere qualcosa ho detto che la Terra andava piano, ma appena si sono distratti con un altro gioco mi sono messo a riflettere.

G. Anche perché l'avevi sparata grossa! Altro che piano! Pensa, una persona sulla Terra deve compiere una circonferenza in 24 ore. Alla nostra latitudine una circonferenza terrestre è maggiore di 30.000 km, quindi nel ruotare stiamo viaggiando a più di 1200 km all'ora!

R. Esatto. Quindi la domanda di mio figlio era più che lecita: perché in una giostra mi devo tenere per non venir sbalzato fuori mentre sulla Terra non mi accorgo neppure che sto ruotando?

G. ...e preparati alle prossime domande che ti farà : come per esempio "perché la terra non mi scivola sotto i piedi" oppure "perché non mi arriva in faccia un vento a 1200 km orari"...?

R. Hai ragione, ma andiamo per passi. In fin dei conti alla domanda originale è più facile rispondere. Se sto su una giostra, mentre gira mi sento spinto verso l'esterno, come se ci fosse una forza, che mi spinge tanto più forte quanto più giro velocemente: è quella che si chiama "forza centrifuga". Poiché anche la Terra gira, anche sulla Terra ci dev'essere una forza centrifuga, che in effetti dovrebbe spingerci in fuori, sollevandoci dal suolo...

G. Si è vero, perciò tuo figlio ha ragione a chiedersi com'è che resta attaccato al terreno senza doversi reggere da qualche parte per non volar via, ma rispondere che la Terra va piano non è sufficiente: del resto se mettesti una pallina su una giostra lentissima, ma perfettamente piatta e levigata, senza attrito, alla fine la pallina cadrebbe fuori dal bordo, per quanto lenta la facessi girare!

R. Già. In effetti il vero motivo è che qui sulla Terra c'è la forza di gravità o forza peso, che ci spinge verso il basso e ci tiene con i piedi per terra compensando la forza centrifuga.

G. Giusto. Anzi non solo la compensa, ma la supera. Infatti l'intensità della forza centrifuga dipende dalla velocità di rotazione e se ti fai i conti vedrai che la forza centrifuga sulla Terra è al massimo 300 volte più debole della forza di gravità. Inoltre dipende anche dalla distanza dall'asse di rotazione, perciò è massima all'equatore, dove siamo a più di 6000 km dall'asse di rotazione, ma nulla ai poli, dove siamo proprio sull'asse stesso!

R. È vero e in particolare questo vuol dire che se ci pesassimo all'equatore troveremmo un peso inferiore (di 1/300) di quello che misureremmo al polo...

G. Sì, succede proprio così, all'equatore siamo un po' più leggeri: circa 1 etto di meno per una persona che qui in Italia pesi 70 kg...

R. Anche il motivo per cui non ci accorgiamo che stiamo girando dev'essere legato a questo fatto che la forza centrifuga è trascurabile rispetto alla forza di gravità, proprio perché la terra gira piano. In fondo, dando per scontata la gravità, la risposta frettolosa che ho dato a mio figlio sembrerebbe corretta...

G. Sì... può sembrare , ma se ci pensi bene ti accorgerai che non è così! Se anche la Terra ruotasse tanto velocemente che la forza centrifuga fosse quasi uguale alla gravità, stando fermi non ci accorgeremmo lo stesso che sta girando! Certo, saremmo molto più leggeri e ci sarebbe una bella differenza tra i poli e l'equatore. Per esempio, se la Terra girasse soltanto in un'ora e mezza, un uomo che pesasse 70 kg al polo Nord viaggiando verso l'equatore si sentirebbe sempre più leggero fino a pesare meno di 10 kg... ma a parte questo, se rimanesse fermo, non si accorgerebbe neanche lui che la Terra gira: infatti anche lui non avrebbe bisogno di aggrapparsi per non volar via e, soprattutto, non si sentirebbe "tirato in fuori" come ci si sente in una giostra!

R. Hai ragione. Come dicevamo la vera differenza tra la Terra e una giostra è che nel caso della Terra esiste una naturale forza "centripeta", cioè che tira verso il centro, mentre nel caso della giostra dobbiamo cavarcela per contro nostro, aggrappandoci a un palo per esercitare noi stessi la forza centripeta . Questi due modi di tirarci verso il centro però non sono la stessa cosa: nella giostra tutte le parti del nostro corpo tendono ad andare in fuori, tranne la mano con cui ci aggrappiamo, perciò percepiamo la forza centrifuga perché sentiamo uno "stiramento" del braccio; sulla Terra invece questo non accade perché la forza di gravità attrae allo stesso modo ogni singola parte del nostro corpo, non soltanto i piedi e quindi non c'è nessuno stiramento tra le diverse parti del corpo che ci permetta di percepire una forza centrifuga che ci tiri in fuori!

G. Ottima spiegazione. ...però se stai sulla giostra, ti rendi conto che stai ruotando anche se ti metti fermo al centro, sull'asse di rotazione, dove la forza centrifuga non c'è...

R. ...beh, è perché vedo sempre il resto del mondo che mi gira attorno...

G. Sì lo vedi, ma non è quello che ti fa sentire che stai ruotando. Piuttosto il fatto che dopo un po' ti gira la testa! Te ne accorgeresti anche se fossi bendato, o se stessi dentro una cabina senza finestre...

R. In effetti se fai una piroetta su te stesso la testa ti gira eccome, nonostante la tua velocità sia nulla, visto che non ti sposti da dov'eri! L'effetto della rotazione, in fin dei conti, non dipende da quanto ti muovi velocemente, ma da quanti giri fai in un certo tempo: noi fisici la chiamiamo "velocità angolare". Se ci pensi un attimo ti accorgerai che la rotazione della giostra ti fa sempre girare su te stesso facendoti girare la testa, anche se non sei al centro, e questo non è compensato dal fatto che ti aggrappi.

G. Naturalmente anche la Terra ci fa girare su noi stessi mentre ruotiamo con lei, ma per quanto ci sposti all'elevata velocità di 1200 km/h, la sua velocità angolare è di un

solo giro in 24 ore: una piroetta così lenta che non ce ne possiamo accorgere.

R. Ora è chiaro perché non ci accorgiamo di nulla: stando sulla Terra "andiamo veloci, ma giriamo piano"!

*----pausa musica---*

G. ...tuttavia c'è ancora un dettaglio che non mi convince: hai detto che sulla Terra la forza centrifuga tende ad allontanarci dall'asse di rotazione, non dal centro della Terra! In pratica se prendi un mappamondo e lo guardi tenendolo col polo Nord in alto la gravità è diretta verso il centro del mappamondo, ma la forza centrifuga è diretta in orizzontale perciò solo all'equatore le due forze sono dirette in direzioni opposte, mentre alle latitudini intermedie le loro due direzioni non sono allineate: come fanno a compensarsi? Per esempio, qui in Italia la direzione della forza centrifuga non punta proprio verso l'alto, ma è inclinata di ben 42 gradi verso Sud. Vuol dire che se mi metto al centro del soggiorno la forza centrifuga mi sta tirando verso l'angolo formato dal soffitto e dalla parete a Sud. Perciò la gravità, che è sempre verticale, non può compensarla! Dovremmo tutti sentirci spinti verso Sud... a conti fatti, se mettessi una palla per terra dovresti vederla rotolare da quella parte... com'è che questo non succede? ...ti dicevo che c'è qualcosa che non mi torna.

R. Accidenti... è proprio vero! Potrebbe essere... ma sì, la spiegazione è facile: se ci pensi la direzione "verticale" la definiamo noi, usando un filo a piombo come fanno i muratori, ma poiché la Terra gira, anche il piombo appeso al filo è soggetto alla forza centrifuga e si sposta leggermente verso Sud: quindi non punta dritto verso il centro della Terra. E così anche i nostri pavimenti e ogni altra cosa che chiamiamo "orizzontale", cioè ortogonale al filo a piombo, come ad esempio la superficie di un lago, sono tutti altrettanto inclinati, risultando un po' più bassi sul lato a Nord e un po' più alti sul lato a Sud, rispetto a una Terra perfettamente sferica. È per questo che una palla non rotola su un pavimento orizzontale e che noi non ci vediamo inclinati.

G. Nota però che, anche se questa inclinazione è minuscola, il suo effetto è tutt'altro che trascurabile: infatti proprio a causa della forza centrifuga la Terra non è una vera sfera, ma è schiacciata ai poli e allargata di ben 43 km all'equatore!

*----pausa musica---*

R. Ok, allora su questa questione abbiamo fatto mente locale ... ora restano le altre domande che ci sono venute. Per cominciare, perché la terra non ci scivola sotto i piedi, com'è che ci muoviamo insieme a lei?

G. Beh questo dev'essere legato all'attrito che ci mantiene solidali con la terra ....

R. ...no ...non può essere. Se allora andassi sul ghiaccio, dove non c'è praticamente attrito, la terra mi schizzerebbe sotto i piedi a 1200 km orari! ...non credo che a qualcuno sia mai successo! Sto riflettendo che tutta la nostra vita, dall'inizio alla fine, si svolge su un percorso circolare a quella velocità...

G. Sì, in effetti il nostro intero pianeta è nato già in rotazione, nel vortice primordiale di rocce e polveri che poi si sono aggregate per formare la Terra.

R. Noi stessi nasciamo già muovendoci a 1200km orari e visto che la rotazione della Terra è sempre uguale non servono altre forze per mantenerci in questo stato.

G. ...però non mi torna. Noi insegniamo sempre che un corpo non soggetto a forze si muove di moto rettilineo uniforme, non di moto circolare uniforme!

R. Ma infatti qui le forze ci sono! Noi insegniamo anche che se un corpo è sottoposto ad una forza centrale, cioè diretta verso un punto, nel nostro caso il punto sull'asse terrestre più vicino a noi, il suo "momento angolare" si conserva. Tradotto in un linguaggio umano, questo vuol dire che se una forza mi tira continuamente verso un asse e per qualche motivo mi mantengo sempre alla stessa distanza da esso, io ruoto attorno a quel asse sempre alla stessa velocità. Così per esempio se pianto un paletto in un lago ghiacciato, prendo un sasso, e lo lego a un anello infilato nel paletto, in assenza di attrito cosa succede?

G. Dopo avergli dato una breve spinta per metterlo in movimento, il sasso continua a girare per sempre alla stessa velocità senza ulteriori interventi. Per un corpo rigido, come un pianeta, avviene lo stesso: si forma un asse di rotazione preferenziale attorno al quale l'intero corpo continua a ruotare per sempre, a meno che non vi sia qualche forza che lo rallenti. Lo stesso perciò avviene per noi. Siccome facciamo parte del pianeta Terra nasciamo già alla velocità di 1200km orari e la forza di gravità, combinata opportunamente col sostegno della superficie terrestre ci permette di mantenere questa velocità per sempre e senza sforzi.

R. Bene, e come mai girando con la Terra non vengo investito da un vento fortissimo? Quando sono su una giostra viaggio a pochi km l'ora, ma sento l'aria che mi viene incontro (oddio in realtà sono io ad attraversare l'aria, ma è la stessa cosa).

G. E se vuoi c'è anche di più: 1200km orari è poco più della velocità del suono nell'aria, che è di 1193 km/h. Quindi sto perfino viaggiando a velocità supersonica, sfondando la barriera del suono. Dovrei sentire il caratteristico boato, ci sarebbe sempre un gran frastuono. Come mai non succede?

R. Sia la mancanza di vento a 1200 km orari che la mancata rottura del muro del

suono hanno la stessa spiegazione e cioè che l'aria attorno alla terra si muove anch'essa alla velocità di 1200 km orari (a meno di perturbazioni, considera che il vento più forte pensabile all'interno dei cicloni ha una velocità di 250km orari, cinque volte di meno). In generale quindi, la Terra, noi e l'aria che ci circonda viaggiamo tutti alla stessa, elevatissima, velocità.

G. Certo che è clamoroso che non abbiamo alcuna percezione del fatto che siamo in moto a questa velocità. Anzi, spiegami una cosa: visto che tutti gli effetti che pensavamo si compensano, come abbiamo fatto a capire che la Terra gira?

R. In realtà un modo c'è per realizzare che il nostro sistema di riferimento è in moto circolare, ed è il pendolo di Foucault reso tanto famoso da Umberto Eco!

G. Già, ne avranno sentito parlare un po' tutti prima o poi; ma ricordami un po' di che si tratta?

R. Puoi chiamare "pendolo" qualsiasi filo appeso in alto a cui è legato un oggetto pesante. Se tiri da una parte il peso e poi lo lasci andare questo si metterà ad oscillare avanti e indietro come il pendolo di un vecchio orologio, poiché la forza di gravità cerca sempre di portare il peso nel punto più basso. Se il filo è abbastanza lungo e l'oggetto abbastanza pesante, il pendolo continuerà ad oscillare anche per parecchie ore prima di fermarsi. Questo pendolo viene chiamato di Foucault perché fu utilizzato dal fisico ottocentesco Foucault per verificare l'impatto della rotazione terrestre sulle oscillazioni del pendolo. Ma dal punto di vista fisico è un semplice pendolo, con l'unico vantaggio di evitare effetti spuri che confonderebbero le osservazioni. È di così semplice realizzazione che si trova frequentemente nei musei scientifici.

G. E qual è l'effetto che vi si osserva?

R. Un pendolo posto in oscillazione in una certa direzione, continua ad oscillare in quella direzione. Questo deriva dalle equazioni del moto, ma è anche esperienza quotidiana: se sospendo un peso davanti a me con un filo e lo faccio oscillare da sinistra a destra, non mi aspetto che ad un certo punto oscilli avanti e dietro. In realtà se avessi un pendolo sufficientemente accurato (cioè un pendolo di Foucault) ed aspettassi abbastanza a lungo vedrei cambiare il piano su cui oscilla e ad un certo punto oscillerebbe avanti-indietro, salvo poi, col tempo, tornare ad oscillare da destra a sinistra.

G. Beh, se il pendolo gira vuol dire che ci deve essere una forza che mentre si muove lo spinge di lato. ...eppure qui l'unica forza che vedo è quella di gravità!

R. Infatti non c'è nessuna forza reale che lo spinge a ruotare: il piano di oscillazione

resta fermo! E' la Terra che gli gira sotto ed è proprio la rotazione apparente del pendolo a dimostrarlo. Nel caso semplice in cui il pendolo sia al Polo Nord, questo fenomeno si capisce facilmente: immaginiamo nuovamente di far oscillare il pendolo da destra a sinistra rispetto a noi. Mentre però lui continua ad oscillare sullo stesso piano noi ruotiamo su noi stessi perché solidali con la terra. Dopo 6 ore, noi avremo ruotato di 90 gradi e il pendolo ci sembrerà oscillare avanti-indietro.

Tuttavia, poiché dal nostro punto di vista (rotante) è il pendolo a cambiare piano di oscillazione, ci sembra che si applichi una forza e, anche se è una forza fittizia (perché non esiste nella realtà), noi le diamo un nome.

G. Giusto, la "forza di Coriolis"

R. Esatto e questa forza fittizia è sempre perpendicolare sia all'asse di rotazione del sistema di riferimento sia alla direzione dello spostamento. Nel nostro caso quindi spinge il pendolo sempre di lato.

G. Che quindi finisce a girare in tondo. Bello, quindi per sincerarmi che la terra ruota devo costruire un pendolo ...

R. Non solo... basterebbe consultare un'immagine da satellite, per esempio quelle delle previsioni meteo.

G. E come?

R. Avrai visto che in queste foto i sistemi nuvolosi hanno sempre la forma di un vortice, detto "ciclone" o "anticiclone", eppure il vento quando si forma va dritto!

G. Ho capito dove vuoi arrivare: se le perturbazioni sono dei vortici vuol dire che la Terra gira!

R. Infatti. I venti si formano in vari modi, per esempio quando una massa di aria fredda dal Nord si sposta verso Sud; ora, se la Terra non ruotasse, questo vento continuerebbe dritto verso Sud. Ma se la Terra gira, le regioni più vicine al Polo Nord vanno molto lente mentre quelle più a Sud, vicino all'equatore, hanno una velocità più grande, perciò l'aria che si sposta da Nord a Sud resta indietro rispetto alla rotazione della Terra e quindi il vento piega verso Ovest, generando il vortice. O in altre parole la forza di Coriolis forza le correnti di aria a spiraleggiare.

G. Perciò se guardo un pianeta al telescopio e voglio sapere se ruota o sta fermo, basta che guardo se le sue nuvole sono dritte o a spirale?

R. Già, bell'esempio!



G. Bene, è tempo di tornare a controllare cosa combinano i nostri figli... ne dovessero scaturire altre puntate!

**FINE**